

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



Faculté des Sciences Exactes
Département Recherche opérationnelle
Mémoire du fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme Master 2
Option : Sciences de données et aide à la décision

Thème

**Application des méta-heuristiques à la planification
logistique dans un contexte de chaîne
d'approvisionnement : Cas CEVITAL**

Présenté par :

RAMDANI Imene MECHKEK Sabine

Défendu le 30/06/2024, devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Dr L.Asli	MCA	U. A/Mira Béjaïa
<i>Promoteur</i>	Dr N.Ragab	Docteur	U. A/Mira Béjaïa
<i>Examinatrice</i>	Mme K.Krimat	MCB	U. A/Mira Béjaïa
<i>Examinatrice</i>	Mme N.Lazari	MAA	U. A/Mira Béjaïa

Promotion 2023 – 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

***S**elon « la loi de Murphy », tout prend plus de temps que prévu. Et selon « John Lennon », tout va être bien à la fin. Par conséquent, Ainsi, les souhaits peuvent être légèrement retardés, mais ils finiront par venir. C'est la fin alors, et c'est le moment de dire merci, à chaque personne étant ici, autour de nous,*

Nous remercions d'abord et avant tout, Dieu de nous avoir guidé sur la bonne voie et pour nous avoir aidé à la réalisation de notre mémoire.

*Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre encadrant **Dr Ragab Nadim** pour avoir dirigé ce travail et pour toutes les discussions et les idées, conseils et critiques qui ont guidé nos réflexions.*

*Nous remercions également **Mr Zaidi Samir** chef département GDS et plus particulièrement **Mr Samah Yacine** de service planification et distribution de l'entreprise CEVITAL agro industrielle pour leurs accueils et aides effective et surtout pour avoir consacré leur temps libre à nous soutenir.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude envers **Dr Ramdani Zoubir** enseignant à l'université de Bordj Bouaarrerdj pour sa patience, ses conseils avisés et son aide précieuse, pour le temps consacré, et son soutien indéfectible qui ont été essentiels à la réussite de notre mémoire.*

*Un grand Merci à tous les enseignants impliqués dans notre cursus et plus particulièrement au **Mlle Ouadia Zohra** qui nous a soutenu de manière inestimable tout au long de notre mémoire.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers le chef de département **Dr Larbi Asli** pour sa simplicité, sa générosité en temps et son écoute attentive. Sa disponibilité constante, sa patience et son ouverture d'esprit ont été des atouts précieux tout au long de notre parcours.*

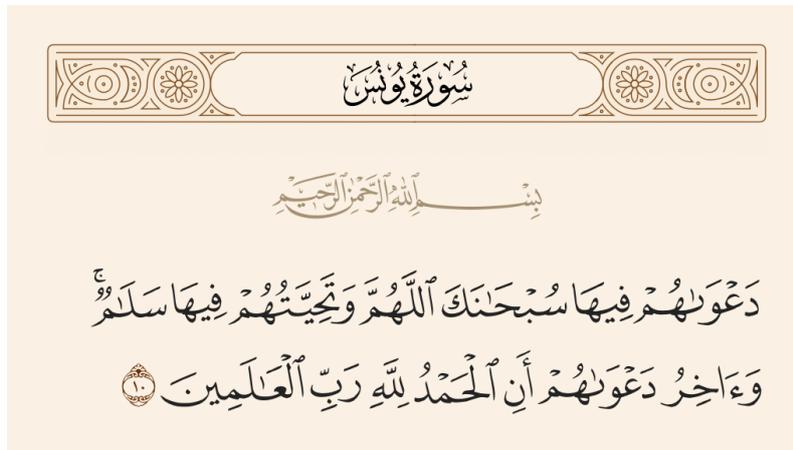
Que le président et les membres de jury trouvent ici nos vifs remerciements pour avoir accepté de juger notre travail.

Notre reconnaissance va également à nos familles pour leurs soutiens morales et financiers et de nous avoir encouragé et accompagné durant notre parcours.

Enfin, nous tenons à exprimé notre profonde gratitude envers notre promotion de Recherche Opérationnelle (SDAD) ainsi que tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

À l'issue de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné la force de réaliser ce modeste travail.



Je dédie ce travail à ma chère famille

À mes chers parents

Qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu inconditionnellement tout au long de mon parcours académique. Leur amour, leurs encouragements et leurs sacrifices ont été une source inépuisable de motivation et d'inspiration.

À mes merveilleuses sœurs

LYNDA, HANANE et DIHIA, pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements constants. Même en leur absence, leurs mots de réconfort et leurs précieux conseils ont toujours su me parvenir et m'ont souvent permis de persévérer. Leur présence dans ma vie est une bénédiction.

À mon frère adoré

FERHAT, pour sa présence, son soutien indéfectible. Sa croyance en mes capacités a été une grande source de motivation.

À mes petites nièces adorées

HANA et ALICE, pour la joie et l'innocence qu'elles apportent dans ma vie, et qui m'ont souvent rappelé l'importance de la persévérance et de l'amour familial.

À mes amis

Je tiens particulièrement à remercier KATIA pour son amitié précieuse et son amour inconditionnel

À ma binôme

SABINE, c'était un honneur pour moi de partager ce petit travail avec elle, pour sa collaboration et les moments qu'on a partagés ensemble.

Imene

Dédicace

À Dieu source de toute connaissance
Je dédie ce travail à mes chers parents

Ma mère

Vous m'avez donné la vie la douceur et le courage nécessaires pour réussir. Tous ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je vous porte J'avoue vraiment que vous êtes pour moi la lumière qui me guide vers le chemin de réussite .c'est a vous que je dois mon succès En témoignage, je vous offre ce modeste travail pour vous remercier de vos sacrifices consentis et pour l'affection dont vous m'avez toujours témoignée.

Mon père

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la plus digne de mon estime et de mon respect
Merci pour chaque sourire, chaque conseil et chaque moment partagé aucun dédicace ne saurait exprimer mes sentiment, que dieu vous préserve et vous procure la santé et longue vie.*

À mes chers frères

" Houssam et Ayoub "Mes complice de toujours, je vous envoie tout mon amour et ma gratitude .Nos liens sont plus forts que les mots ne peuvent l exprimer .Vous êtes mes piliers et je vous aime plus que tout le monde.

À mes cousines

Rozina ,Yasmine ,Lina ,Alicia et Ahlam ce travail vous est dédié pour tous les précieux moments de complicité qui m'ont redonné la force d'avancer.

À mes amis

Chaque moment passé avec vous est un trésor je vous suis reconnaissante de votre amitié inestimable.

À ma binôme

*"Imene " ma partenaire de travail et la bonne amie que l'université m'a fait connaître '.
Merci pour ton aide de tous les instants et d'avoir rendu cette expérience si agréable."*

Sabine

Table des matières

Liste des figures	VIII
Liste des tables	IX
Liste d'abrviations et notations	X
Introduction générale	1
1 Présentation et enjeux	3
Introduction	3
1.1 Présentation de l'organisme d'accueil	3
1.2 Situation géographique	4
1.3 Présentation de l'organigramme du complexe	4
1.4 Les tâches principales des diverses directions du complexe	4
1.4.1 La direction générale	4
1.4.2 La direction des ressources humaines	5
1.4.3 La direction technique contrôle de qualité	5
1.4.4 La direction projet	5
1.4.5 La direction finance et comptabilité	5
1.4.6 La direction commerciale	5
1.4.7 La direction raffinerie d'huile	6
1.4.8 La direction margarinerie	6
1.4.9 La direction raffinerie de sucre	6
1.4.10 La direction conditionnement	6
1.4.11 La direction logistique (supply chain)	6
1.5 Les activités et mission de Cevital	7
1.5.1 Pôle corps gras : Liquide	7
1.5.2 Pôle corps gras : Solide	7
1.5.3 Pôle sucre :	7
1.5.4 El-Kseur	7
1.5.5 A Tizi Ouzou (Agouni Gueghrane)	8
1.6 Le processus de distribution de Cevital	8
1.6.1 Quelques définitions	8
1.7 Plan de distribution de CEVITAL	9
1.8 Position du problème	10
conclusion	10
2 Introduction à la planification logistique et aux métaheuristiques : fondements et concepts clés	11
Introduction	11
Partie I : Logistique	12
2.1 L'historique de la logistique	12

2.2	La chaîne logistique (Supply chain)	12
2.3	Les enjeux de la chaîne logistique	13
2.3.1	Les prix / les coûts	13
2.3.2	La qualité des produits	13
2.3.3	Le délai	14
2.3.4	La flexibilité	14
2.3.5	Niveau de service	14
2.3.6	Les risques	14
2.3.7	Potentiel de progrès	14
2.4	Les acteurs de la chaîne logistique	14
2.4.1	Une chaîne logistique directe :	15
2.4.2	Une chaîne logistique étendue	15
2.4.3	Une chaîne logistique globale	15
2.5	Les modèles organisationnels de la chaîne	16
2.5.1	Structure en série :	16
2.5.2	Structure divergente	16
2.5.3	Structure Dyadique	17
2.5.4	Structure Convergente	17
2.5.5	Structure réseau	17
2.6	Les trois niveaux de flux de la chaîne logistique	17
2.6.1	Le flux d'information	17
2.6.2	Le flux physique	17
2.6.3	Les flux financiers	18
2.7	Les fonctions de la chaîne logistique	19
2.7.1	Approvisionnement	19
2.7.2	Production	19
2.7.3	Stockage	19
2.7.4	Distribution et transport	19
2.7.5	La Vente	20
2.8	Gestion de la chaîne logistique ' Supply Chain Management '	20
2.9	Niveaux de décisions dans la gestion de la chaîne logistique	21
2.9.1	Le niveau stratégique	21
2.9.2	Le niveau tactique	21
2.9.3	Le niveau opérationnel	21
2.10	Planification de la chaîne logistique ou Supply Chain Planning	22
2.11	Le rôle de la logistique dans les entreprises	22
Partie II : Métaheuristique		23
2.12	Définition	23
2.13	Méta-heuristique vs heuristique	23
2.14	Classification des méta-heuristique	23
2.15	Méta-heuristiques à base de solution unique	25
2.15.1	Recuit simulé	26
2.15.2	Recherche Tabou	26
2.16	Méta-heuristiques à base de population	26
2.16.1	Méthode de colonies de fourmis	27
2.16.2	Les algorithmes génétiques	27
Conclusion		28

3	Méthodes et résolutions	29
	Introduction	29
3.1	Problème d'optimisation combinatoire	29
3.1.1	Localisation en optimisation combinatoire	30
3.2	Programmation linéaire en nombres entiers	31
3.3	Les éléments d'un problème mathématique	32
3.4	Récolte de données	32
3.5	Modélisation mathématique du problème	33
3.6	Étapes pratiquées	34
3.6.1	Définition du problème	34
3.6.2	Formulation du problème	35
3.6.3	Méthode de résolution	37
	Conclusion	46
4	Résolution du problème	47
	Introduction	47
4.1	Présentation d'outil de résolution	47
4.2	Tableau de Simulation et Paramétrage	48
4.3	Résultats et discussions	49
	Conclusion	54
	Conclusion générale	55
	Bibliographie	59
	Annexes	59
	Résumé	60

Table des figures

1.1	Organigramme de l'entreprise Cevital Bejaïa	4
1.2	Effectifs par direction	6
1.3	Statistique sur les effectifs par site (mars 2023)	8
1.4	Plan de distribution de CEVITAL	9
2.1	Présentation d'une chaîne logistique[5].	13
2.2	La chaîne logistique directe (CLD) [58].	15
2.3	La chaîne logistique étendue (CLE) [58].	15
2.4	La chaîne logistique finale (CLG) [58].	16
2.5	Types des structures de la chaîne logistique[26].	16
2.6	Les flux de la chaîne logistique[58].	18
2.7	La pyramide des décisions [58].	21
2.8	Classification des méthodes d'optimisation combinatoire[16].	24
2.9	Les trois composants des méta heuristiques [13]	24
2.10	Différentes familles de métaheuristiques[29]	25
2.11	schéma de méthode de colonies de fourmis [20].	27
3.1	Les principales étapes de distribution	35
3.2	Les cinq niveaux d'organisation dans les algorithmes génétiques[28]	39
3.3	Codage des variables[28]	40
3.4	Présentation de la population à une génération i [28]	40
3.5	Les opérations des algorithmes génétiques [48]	41
3.6	Représentation d'un individu : codage réel , codage binaire[6].	41
3.7	croisement sur un seul point[30].	43
3.8	croisement sur deux points[30].	43
3.9	représentation d'opérateur du mutation[30].	43
4.1	Évolution du Meilleur Coût par Génération	49
4.2	Quantités Expédiées par Chaque CLR activé	50
4.3	Satisfaction des Demandes par CLR	51
4.4	Satisfaction des Demandes par CLR (B & B)	53

Liste des tableaux

1.1	Volume de production pôle de corps gras liquide	7
1.2	Volume de production pôle de corps gras solide	7
1.3	T Volume de production de pôle sucre	7
1.4	Usine de production jus de fruits Tchina et sauces	8
1.5	L'unité d'eau Minirale Lalla Khedidja	8
3.1	Capacité de stockage des CLR's en palettes	33
3.2	Les coûts d'exploitation des CLR's	33
3.3	Les demandes des grossistes par semaine	33
4.1	Paramétrage de l'Algorithme Génétique	48
2	Les coûts de transport CLR 1 / grossistes en DA/semaine/ palette	60
3	Les coûts de transport CLR 2 / grossistes en DA/semaine/ palette	61
4	Les coûts de transport CLR 3 / grossistes en DA/semaine/ palette	61
5	Les coûts de transport CLR 4 / grossistes en DA/semaine/ palette	62
6	Les coûts de transport CLR 5 / grossistes en DA/semaine/ palette	62

Liste d'abriviations et notations

- CLD** : La chaîne logistique direct
- CLE** : La chaîne logistique étendue
- CLG** : La chaîne logistique globale
- SCM** : Supply chain Management "Gestion de la chaîne logistique"
- SP** : Supply chain planing "planification de la chaîne logistique"
- RT** : Recherche Tabou
- AG** : Algorithme Génétique
- CLRs** : Centre de livraison régionaux
- CD** : Le cross Docking
- B to B** : Business to Business
- B to C** : Business to Costumer
- RO** : Recherche Opérationnelle
- B&B** : Branch and Bound

Introduction générale

La Recherche Opérationnelle (RO) est une discipline des mathématiques appliquées visant à optimiser l'utilisation des ressources, initialement dédié à l'industrie. À travers les années, son champ d'application s'est développé à divers domaines tels que l'économie, la finance, le marketing, la planification d'entreprise, la gestion des systèmes de santé, ainsi que les problématiques environnementales. Cette approche pluridisciplinaire regroupe un ensemble de méthodes et stratégies rationnelles d'analyse et de synthèse des phénomènes organisationnels afin de fournir aux décideurs les modèles théoriques et l'analyse nécessaires pour prendre les meilleures décisions dans la gestion optimale des ressources[45].

D'autre part, la Data Science, est une discipline récente située à la confluence de nombreuses branches allant de la statistique à l'informatique en passant par l'expérience pratique d'un domaine, est particulièrement appropriée pour exploiter la densité de données qui nous entoure dans notre vie professionnelle et personnelle. Elle englobe différentes approches, de l'analyse statistique classique cherchant à décrire les processus stochastiques sous-jacents, à l'analyse algorithmique visant à extraire l'information à l'aide de modèles potentiellement opaques[11].

Dans un contexte de plus en plus compétitif, l'objectif principal des entreprises est d'améliorer constamment leurs résultats. Elles reposent principalement sur la fabrication de produits et services qui doivent répondre aux besoins des clients dans les meilleurs délais et à moindre coût, tout en optimisant les bénéfices. Toutes les entreprises sont impliquées dans l'amélioration des performances, depuis l'approvisionnement des matières premières en passant par la transformation de ces matières en produits finis jusqu'à la distribution des produits finis aux clients. Cela incite ces entreprises, qui partagent des bénéfices similaires, à s'unir dans un réseau appelé chaîne logistique dont la Recherche Opérationnelle et la Data Science permettent d'optimiser les opérations de cette dernière afin de satisfaire les besoins aux meilleures conditions.

La logistique est un processus clé, qui inclut la gestion de la chaîne d'approvisionnement, le stockage, le transport et la livraison des marchandises. Le transport de marchandises occupe une place centrale dans la supply-chain, car il permet aux sociétés de transférer leurs produits d'un endroit à un autre de manière efficace et fiable. Pour cela, le responsable doit choisir le mode de transport le plus adapté (routier, ferroviaire, aérien ou fluvial), en fonction de la distance à parcourir, des délais d'expédition et des exigences particuliers des marchandises. Dans l'ensemble, le transport de marchandises est la pierre angulaire de l'activité économique, car il permet la circulation des marchandises, soutient le commerce et stimule la croissance économique[41].

Les métaheuristiques offrent une alternative très intéressante pour la résolution des pro-

blèmes logistiques. Elles ont été largement étudiées dans la littérature, allant de la plus simple recherche locale à des techniques de haut niveau. Ces algorithmes, dont beaucoup sont itératifs et certains stochastiques, permettent de résoudre des problèmes d'optimisation complexes. Ils sont particulièrement utiles lorsqu'on cherche à identifier des solutions efficaces dans un temps de calcul raisonnable.

Cevital, est une entreprise leader dans le secteur agro-alimentaire très concurrentiel, fait face à un enjeu crucial : optimiser ses opérations logistiques pour maîtriser ses coûts tout en assurant un excellent service à ses clients. Plusieurs travaux ont déjà été réalisés sur la logistique et la chaîne d'approvisionnement au niveau de Cevital Parmi eux, on peut citer « Optimisation du problème lot sizing avec transport : cas des huiles Elio » [52], « L'impact d'une chaîne logistique sur la performance de l'entreprise : Cas distribution » [51]... Ces recherches antérieures ont permis d'approfondir les enjeux logistiques et d'optimisation auxquels Cevital est confronté.

Habituellement, ce sont les clients eux-mêmes qui se chargent de récupérer leurs commandes auprès des Centres de Livraison Régionaux (CLRs) de Cevital. Cependant, dans le cadre de cette problématique, nous supposons que l'entreprise met en place un nouveau modèle de livraison directe des palettes de l'huile (Elio 5L) aux clients à partir des CLRs. La question fondamentale est alors la suivante : parmi l'ensemble des sites potentiels, quels CLRs doivent être ouverts et activés ? Et surtout, quelle sera la meilleure façon d'acheminer le produit depuis ces CLRs vers les différents clients finaux ?

L'objectif est de trouver la configuration optimale permettant de minimiser à la fois les coûts d'exploitation des CLRs et les coûts de transport, tout en réussissant à satisfaire toutes les demandes des clients d'une manière complète.

Nous avons préférés de structurer notre mémoire de la manière suivante :

Le premier chapitre détaille en profondeur l'entreprise Cevital, posant ainsi le contexte de la problématique abordée.

Le second Le chapitre introduit les concepts fondamentaux de la logistique et de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, retraçant son évolution historique et définissant ses acteurs, flux et structures organisationnelles. Il détaille les fonctions clés comme l'approvisionnement, la production, le stockage, la distribution et les niveaux de décision stratégique, tactique et opérationnel. La dernière partie porte sur les métaheuristiques d'optimisation stochastique utilisées en logistique, notamment le recuit simulé, la recherche tabou, les colonies de fourmis et les algorithmes génétiques.

Le troisième chapitre modélise mathématiquement le problème d'optimisation logistique chez Cevital et détaille la méthode de résolution par algorithmes génétiques, une puissante métaheuristique explorant efficacement l'espace des solutions.

Le dernier chapitre présente les résultats des algorithmes génétiques et les compare avec ceux d'une méthode exacte dans le but de montrer son efficacité.

1

Présentation et enjeux

Introduction

Cevital est la première entreprise privée en Algérie à avoir une gamme étendue de domaines d'activité. Le leader national de l'industrie agroalimentaire, elle fabrique du sucre, des huiles, des boissons et bien d'autres produits, avec 18 000 employés répartis mondialement, Cevital dispose d'usines ultramodernes pour approvisionner le marché algérien et exporter vers plusieurs pays. Cependant, gérer efficacement sa vaste chaîne logistique représente un défi majeur, il s'appuie sur un large réseau de Centres de Livraison Régionaux à travers l'Algérie pour distribuer ses produits jusqu'aux clients finaux. Leur objectif est de réduire les coûts logistiques tout en satisfaisant parfaitement aux demande de la clientèle a fin de rester performant sur le marché.

1.1 Présentation de l'organisme d'accueil

Cevital est la première entreprise privée en Algérie, investissant dans divers secteurs tels que l'alimentaire, l'électronique, l'électroménager, la sidérurgie, et bien d'autres. Comptant 18 000 employés sur trois continents, Cevital est devenu un leader de l'économie algérienne, reconnu pour sa contribution à la création d'emplois et de richesses.



1.2 Situation géographique

CEVITAL est situé sur le nouveau quai du port de Bejaia, à 3 km au sud-ouest de la ville, à proximité de la route nationale 26. L'entreprise bénéficie de cette situation géographique car elle bénéficie de l'avantage de l'approche économique. Effectivement, elle est située à proximité immédiate du port et de l'aéroport de Bejaia.

1.3 Présentation de l'organigramme du complexe

La présentation de l'organigramme du complexe est basée sur un organigramme préétabli par sa direction générale afin de mieux satisfaire ses besoins. (la figure 1.1)

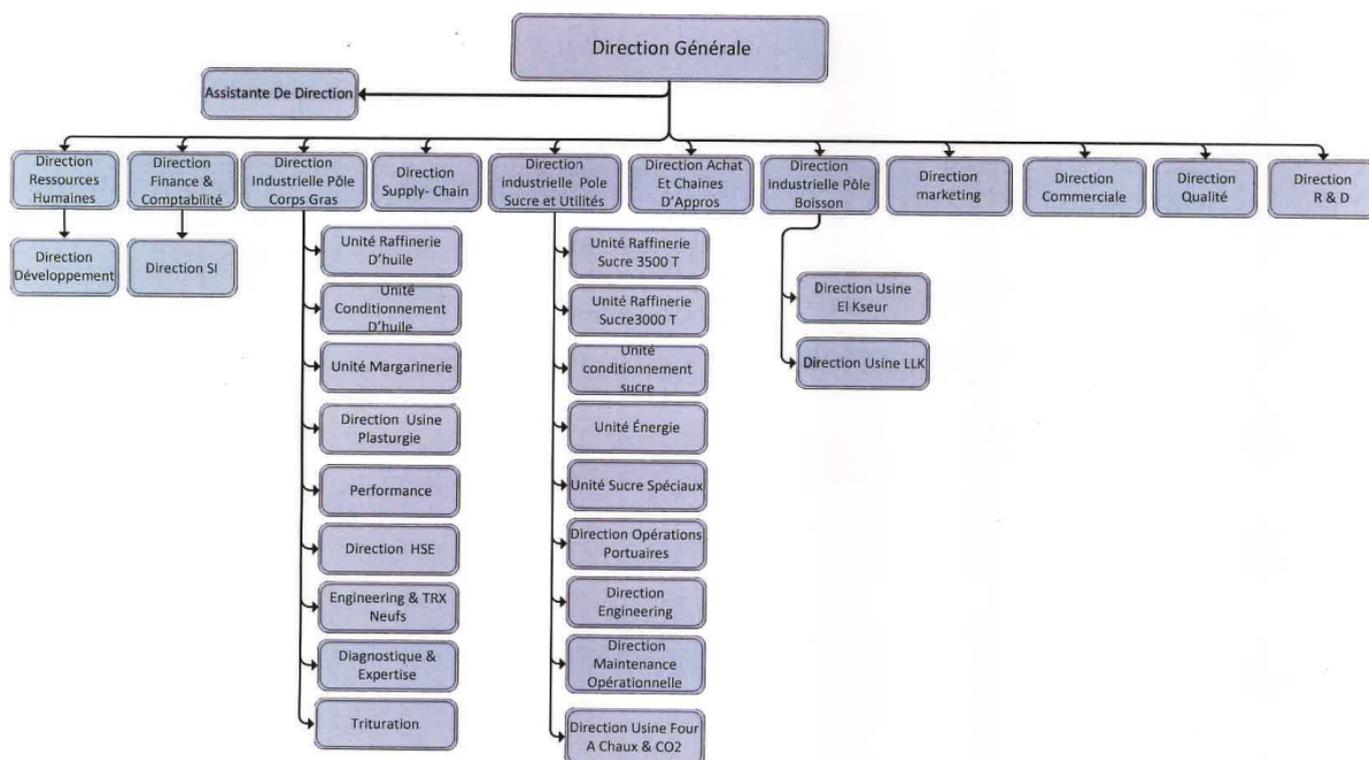


FIGURE 1.1 – Organigramme de l'entreprise Cevital Bejaia

1.4 Les tâches principales des diverses directions du complexe

1.4.1 La direction générale

En collaboration avec la direction du siège d'Alger, elle est responsable de la création des plans stratégiques et des décisions concernant les politiques marketing à mettre en place. Elle est également chargée de coordonner, d'orienter et de motiver les autres directions. Le président

directeur général (PDG) est l'actionnaire majoritaire de la direction générale.

1.4.2 La direction des ressources humaines

Son rôle est essentiel dans l'organisation structurelle de CEVITAL, en assurant :

- la gestion administrative du personnel (le règlement des salaires, les dossiers de la sécurité sociale et les employés, les congés....);
- la gestion prévisionnelle (le recrutement et le suivi d'effectif, la formation du personnel...);
- l'ensemble de la société et des relations humaines au sein de l'entreprise.

1.4.3 La direction technique contrôle de qualité

Quatre laboratoires sont équipés : un laboratoire de suivi d'huile, de margarine, de sucre et de conditionnement. La qualité des produits et tous leurs processus de production sont contrôlés et suivis par eux, en élaborant des bilans chaque quart d'heure au plus tard une demie heure, sous la supervision d'un laboratoire central qui surveille la qualité micro-biologique des différents produits.

1.4.4 La direction projet

Elle travaille en collaboration avec la direction générale, elle a pour mission de réaliser et de suivre les projets. Elle est responsable de tous les travaux de construction ou d'extension. et de la mise en place des dispositifs techniques et mécaniques.

1.4.5 La direction finance et comptabilité

Elle joue un rôle essentiel dans la gestion du complexe, en prenant en charge :

- La détermination et la répartition des budgets financiers requis pour chaque direction afin de surveiller leur patrimoine ;
- La comptabilisation quotidienne de toutes les entrées et sorties d'argent en fonction des pièces justificatives signalées ;
- La satisfaction des exigences supérieures en termes d'exactitude, de précision et de délai afin que l'entreprise puisse efficacement prendre ses décisions vis-à-vis des parties.

1.4.6 La direction commerciale

Elle est responsable de toutes les relations avec l'environnement de l'entreprise, de la vente des produits finis et du suivi de ses clients, principalement répartis sur le territoire national et quelques pays étrangers. Dans cette optique, la direction a adopté la configuration suivante :

- contribuer à la conception de la stratégie commerciale de l'entreprise ;
- guider, distribuer, développer et organiser la production d'huiles ;
- superviser les activités de son département.

1.4.7 La direction raffinerie d'huile

Son rôle est de raffiner l'huile brute dans les conditions optimales, grâce à une salle de contrôle informatisée qui permet de définir les paramètres de raffinage en fonction des caractéristiques physico-chimiques des huiles.

1.4.8 La direction margarinerie

Son objectif est de maximiser l'efficacité de ses équipements de production afin d'atteindre une productivité optimale tout en préservant les avantages comparatifs que peuvent apporter les produits finis.

1.4.9 La direction raffinerie de sucre

La raffinerie de sucre est responsable de la transformation du sucre roux en sucre blanc prêt à être conditionné.

1.4.10 La direction conditionnement

Encadrée par une équipe de 3x8, elle opère 24 heures sur 24, avec pour mission la production d'emballages et la mise en bouteille d'huile raffinée.

1.4.11 La direction logistique (supply chain)

La direction logistique, créée en janvier 2003, est considérée comme le socle de l'entreprise, car elle apporte son soutien aux autres départements en leur fournissant les ressources matérielles, financières et d'information nécessaires. Notre stage a été effectué au sein de cette direction, plus précisément dans les sections de gestion des stocks et de transport, ce qui nous permettra d'acquérir une expérience pratique dans ces domaines clés.

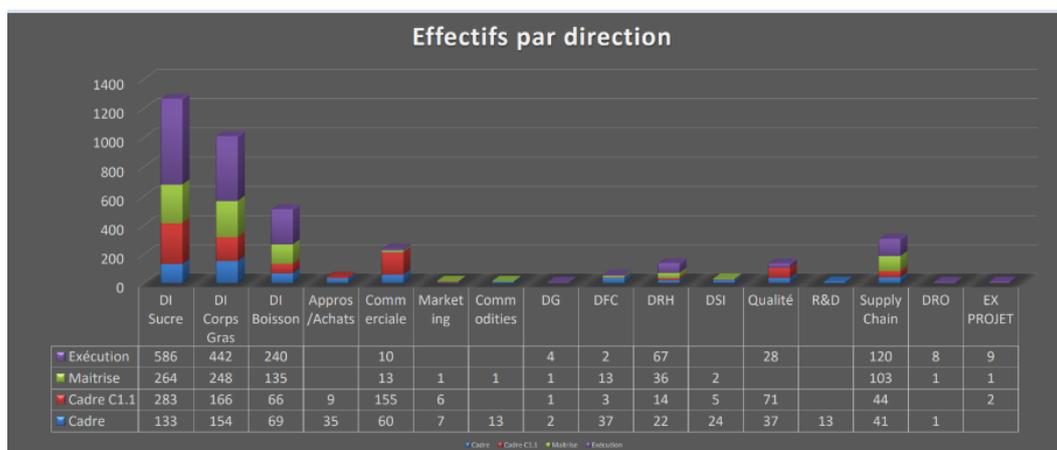


FIGURE 1.2 – Effectifs par direction

1.5 Les activités et mission de Cevital

1.5.1 Pôle corps gras : Liquide

TABLE 1.1 – Volume de production pôle de corps gras liquide

unité	capacité	unité	Observations
Silos de stockage Huile Brut	61 900	Tn	17 bacs de stockages
Raffinerie D'huile	2 100	Tn/jour	
Silos de stockage Huile Raffiné	6 620	Tn	19 bacs de stockages
Conditionnement d'huile	2 500	Tn/jour	

1.5.2 Pôle corps gras : Solide

TABLE 1.2 – Volume de production pôle de corps gras solide

unité	capacité	unité
Margarinerie	600	Tn/jour

1.5.3 Pôle sucre :

TABLE 1.3 – T Volume de production de pôle sucre

Unité	Capacité	Unité	Observations
Hangar de stockage MP sucre	200 000	Tn	02 Hangars, (50ktn, 150ktn)
Raffinerie sucre	6 500	Tn/jour	02 Raffineries (3000tn, 3500tn)
Silos de stockage PF	80 000	Tn	01 silo
	11 800	Tn	04 silos de 2950 tn
Conditionnement de sucre	10 000	Tn/jour	02 unités de conditionnement
Raffinerie sucre liquide	600	Tn/jour	01 unité
Silos de stockage PF	1500	Tn	05 bacs de 300 tn

1.5.4 El-Kseur

TABLE 1.4 – Usine de production jus de fruits Tchina et sauces

Unité	Capacité	Unité
Boissons	1130	Tn/jour
CAT (confitures)	66	Tn/jour
sauce	100	Tn/jour

1.5.5 A Tizi Ouzou (Agouni Gueghrane)

TABLE 1.5 – L'unité d'eau Minirale Lalla Khedidja

unité	capacité	unité
Eau	2688	Tn/jour

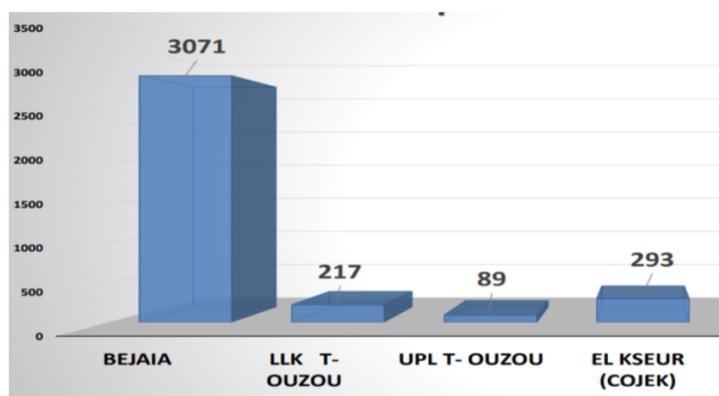


FIGURE 1.3 – Statistique sur les effectifs par site (mars 2023)

1.6 Le processus de distribution de Cevital

La distribution englobe toutes les méthodes et les opérations qui assurent le transport d'un produit issu de l'usine vers le consommateur final, en quantités adéquates, au moment et au bon endroit, avec les services requis pour sa vente.

1.6.1 Quelques définitions

Définissons quelques termes utilisés dans la terminologie de distribution dans CEVITAL :

- **Plateformes** : Sont des espaces de stockage externes détenus exclusivement par CEVITAL. Trois plateformes existent : la plateforme de Bouira, la plateforme de Hassi Ammeur à Oran et la plateforme d'El Kharoub à Constantine. Les centres de livraison régionaux, également appelés CLR, sont alimentés selon le besoin à partir de ces plateformes.
- **Les CLR (centres de livraison régionaux)** : CLR ne sont pas des zones de stockage car ils fonctionnent selon le principe de cross-docking, qui signifie que toute entrée au CLR sera

vendue. En 2014, Cevital a adapté les CLR, une nouvelle stratégie visant à réduire la pression sur le complexe, il est important de rapprocher davantage la marchandise du client et de préserver sa position sur le marché en affrontant la concurrence. Cevital a 16 CLR, Chaque CLR a un représentant dirigé par un portefeuille client, avec ses propres clients.

- **Le cross docking :** CD est une méthode logistique qui consiste à "consolider" les produits enlevés chez un certain nombre de fournisseurs lors de leur passage par une plateforme logistique ou un entrepôt avant d'être livrés en aval à un certain nombre de destinataires. La consolidation consiste à recevoir des produits de différents véhicules dans l'entrepôt, à les trier et à les classer en fonction de leurs destinations finales.
- **Keep contact :** C'est un prestataire de service possède un centre d'appel et gère les commandes clients de ses clients, y compris son client principal Cevital.

1.7 Plan de distribution de CEVITAL

■ **Les clients CLR :** Les clients qui s'alimentent directement auprès des CLR sont représentés par eux. Les grossistes et les détaillants sont inclus :

- **Les grossistes :** agissent comme des intermédiaires entre les fabricants et les vendeurs. Ils permettent de Optimiser les dépenses logistiques .

- **Le détaillant :** est un intermédiaire entre les grossistes et les clients finaux. Au sein de cette stratégie de distribution, le détaillant est chargé de rechercher des grossistes pour les produits.



FIGURE 1.4 – Plan de distribution de CEVITAL

■ **Les clients hors CLR :**

Ils regroupent toutes les entreprises et les consommateurs qui consomment des produits soit au niveau du complexe, soit au niveau des plateformes.

- **B to B :** Les entreprises qui font appel aux produits CEVITAL en tant que matières premières : le sucre pour la fabrication du chocolat ou des boissons.

- **B to c** : Les clients de la catégorie B à C sont ceux dont les produits sont destinés à la consommation finale en raison de l'absence de CLR's dans leur région, comme les grossistes de Boussaada.

1.8 Position du problème

Durant la période de stage chez l'entreprise CEVITAL nous avons rencontré à divers défis auxquels les gestionnaire de supply shain rencontrent souvent quand peut citer :

- La gestion efficace de stockage dans la chambre froide MRG s'est dévoilée être un défaut majeur en raison de plusieurs critères à prendre en compte tels que :la distribution de poids,sensibilité,uniformentation et l'espace limité disponible.
- La gestion de ruptures des stocks étaient un soucis constant en raison de quantité insuffisante ou l'indisponibilité de produit de substitution.
- Le choix de bon fournisseur certains était liés à un seul producteur tandis que les autre offraient une gamme plus variée.
- La gestion des fils d'attente pour les arrivée des camions,les retards non planifier peuvent causer des problèmes logistiques importants.
- L'ordonnancement des tâches et l'approvisionnement des matières premières peuvent causer des inquiétudes dans la façon dont la chaîne d'approvisionnement fonctionne efficacement.
- Habituellement, chez Cevital, ce sont les clients eux-mêmes qui se chargent de récupérer leurs commandes auprès des différents Centres de Livraison Régionaux (CLR's). Cependant, dans le cas présent, nous nous intéressons spécifiquement aux palettes d'huile et supposons que Cevital adopte un nouveau modèle où l'entreprise assure désormais une livraison directe des palettes d'huile aux clients à partir des CLR's.
Dans ce contexte, notre problématique centrale consiste à déterminer quels centres de livraison Régionaux (CLR's) activer parmi un ensemble de sites potentiels,et comment acheminer les palettes d'huile de ces CLR's vers les clients,de manière à minimiser les coûts totaux d'exploitation des CLR's et de transport, tout en satisfaisant entièrement les demandes de tous les clients en palettes d'huile afin que Cevital reste compétitive sur le marché alimentaire concurrentiel.

Conclusion

La planification de la distribution des produits revêt une importance cruciale pour Cevital, étant donné son impact direct sur le succès global de l'entreprise. Une distribution efficace implique non seulement la livraison rapide et fiable des produits aux clients, mais aussi la minimisation des coûts opérationnels et la maximisation de la satisfaction client. Dans le prochain chapitre, nous aborderons la modélisation mathématique de cette problématique complexe,offrant ainsi au Cevital des outils et des approches pour trouver des solutions optimales.

2

Introduction à la planification logistique et aux métaheuristiques : fondements et concepts clés

Introduction

La logistique s'est imposée aujourd'hui comme un concept clé et un domaine d'intérêt croissant aussi bien pour les entreprises que pour les chercheurs, visant à optimiser la gestion des flux de matières, d'informations et financiers tout au long de la chaîne. Depuis l'achat des matières premières jusqu'à la livraison des produits finis aux clients en passant par la fabrication, la conservation et le transport.

Son objectif est l'optimisation globale des fonctions de la chaîne et les différentes activités qui en découlent afin d'assurer la disponibilité des biens et services au bon endroit, au bon moment et au moindre coût, tout en garantissant un niveau de service élevé pour les clients. Face à la complexité croissante des systèmes logistiques, les entreprises se tournent de plus en plus vers des méthodes d'optimisation avancées appelées méta-heuristiques. Ces méthodes générales de recherche, inspirées de phénomènes naturels ou de comportements collectifs intelligents qui nous entourent, permettent d'aborder des problèmes d'optimisation difficiles de manière efficace. Parmi les méta-heuristiques les plus réputées, on peut citer : le recuit simulé, la recherche tabou, les algorithmes de colonies de fourmis et les algorithmes génétiques.

Ce chapitre présente tout d'abord les fondements et concepts clés de la logistique, son historique, les flux et acteurs impliqués, ainsi que sa gestion au sein de la chaîne logistique. Il aborde ensuite les méta-heuristiques les plus couramment utilisées pour l'optimisation des processus logistiques, mettant en évidence leurs caractéristiques spéciales.

Partie I : Logistique

2.1 L'historique de la logistique

La logistique, issue du terme grec désignant l'art du calcul, a d'abord été militaire, gérant les ressources pour les opérations stratégiques depuis l'époque d'Alexandre le Grand (Engles, 1978). Après la Seconde Guerre mondiale, elle s'est intégrée à l'industrie, appuyée par des spécialistes militaires et évoluant avec les marchés. Depuis les années 80, elle est couramment utilisée dans les médias pour le soutien militaire et humanitaire. Initialement considérée comme secondaire, la logistique est devenue essentielle pour la coordination des activités d'entreprise, l'optimisation des ressources et la réduction des coûts, englobant la gestion des flux et des systèmes physiques[40].

2.2 La chaîne logistique (Supply chain)

Il y a plusieurs définitions de la supply chain (en français « chaîne d'approvisionnement » ou « chaîne logistique », mais les logisticiens privilégient l'expression américaine). Actuellement, il est impossible de fournir une définition acceptée par tous et dans tous les pays ; elle est souvent décrite comme "la série des étapes de production et distribution d'un produit depuis les fournisseurs jusqu'aux clients" [57].

Certaines définitions essentielles incluent :

Définition 1 : La chaîne logistique contient toutes les activités, liées aux flux et la transformation des produits, depuis la phase matière première à la livraison du produit fini au consommateur, en passant par toutes les étapes intermédiaires, ainsi que les flux d'information associées" [Handfield.R.B, (1999)][1].

Définition 2 : L'approvisionnement en matière première, la transformation de ces matières premières en composants, puis en produits finaux et la distribution des produits finaux vers les clients sont des fonctions de la chaîne logistique [(Lee et Billington (1993))[44].

Définition 3 : La chaîne logistique est un ensemble de trois entreprises ou plus directement liées par un ou plusieurs flux amont et aval de produits, de services, de finances et d'informations [Mentzer et al.(2001)][37].

Définition 4 : Les chaînes logistiques ne possèdent qu'un seul nom de chaîne et se composent d'un réseau d'organisations complexe [Le Moigne (2017)][50].

Définition 5 : une chaîne logistique concerne un produit fini ou une famille de produits/services donnés, implique plusieurs entreprises autonomes liées par trois flux (information, physique et financier), collaborant pour mieux s'adapter aux contraintes du marché, semble très étendue en raison des fournisseurs et de la difficulté à déterminer la fin de la consommation (ex : recyclage), et doit prendre en compte le développement durable [Chardine Baumann (2011)][3].

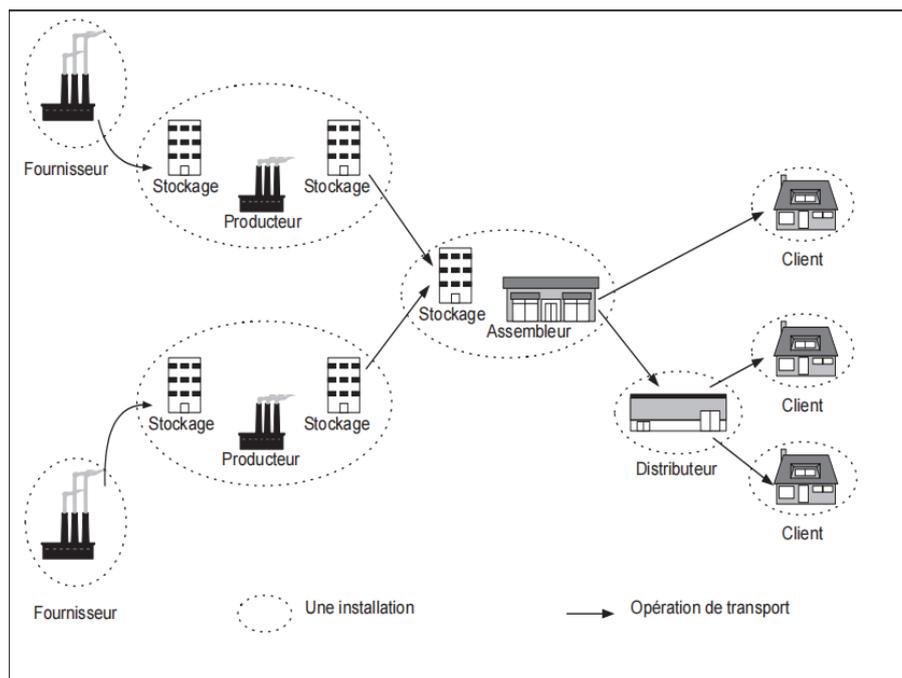


FIGURE 2.1 – Présentation d'une chaîne logistique[5].

2.3 Les enjeux de la chaîne logistique

La mondialisation a apporté des changements significatifs aux modèles stratégiques traditionnels. Auparavant, il était suffisant de distinguer par les prix ou de se démarquer. Les entreprises doivent aujourd'hui être performantes sur tous les aspects, y compris le prix, la qualité, les délais, la flexibilité et le service. Les clients deviennent de plus en plus exigeants et exigent à la fois des produits de qualité, des prix compétitifs, des livraisons rapides et un service exceptionnel. Pour rester compétitif sur les marchés mondiaux[39].

2.3.1 Les prix / les coûts

La pression constante sur les prix contraint les producteurs à améliorer régulièrement leur productivité et à revoir leur structure industrielle. Cela les pousse à agir sur généraux du siège[39].

2.3.2 La qualité des produits

L'objectif de la qualité n'est plus réellement un objectif car elle est désormais considérée comme un pré-requis pour être compétitif. L'unité de mesure utilisée reflète bien les progrès réalisés dans ce domaine : du pourcent, le niveau de qualité est passé au « Pour mille » puis plus récemment au P.P.M. (Pièces défectueuses par million). Il ne s'agit plus du niveau de qualité à atteindre, mais plutôt du coût nécessaire pour y parvenir[39].

2.3.3 Le délai

Le délai est le temps entre la commande d'un produit et sa réception par le client, perçu comme le laps nécessaire entre la reconnaissance du besoin et l'utilisation du produit. Ce délai inclut les tâches du fournisseur (préparation et expédition) ainsi que les tâches internes (reconnaissance des besoins, communication avec les achats, passation de la commande, réception et contrôle du produit)[39].

2.3.4 La flexibilité

La flexibilité, qui correspond à la capacité de s'adapter aux variations de la demande, se décline en deux aspects : le volume de la demande en quantités et le délai nécessaire pour effectuer des changements dans le plan de fabrication d'un produit donné, réorganiser le processus de production et passer à un autre article[39].

2.3.5 Niveau de service

Le niveau de service se réfère à la probabilité de répondre à la demande dans un délai spécifié. Lorsqu'on examine ce concept dans le cadre du choix des variables, il est important de déterminer si l'on doit comparer les livraisons effectuées par rapport au nombre total de livraisons, ou plutôt se concentrer sur le nombre de lignes de commandes[39].

2.3.6 Les risques

Aujourd'hui, avec la technologie omniprésente, les entreprises ne tolèrent plus les risques comme les retards, erreurs, pannes ou faillites de fournisseurs. Le juste-à-temps a augmenté cette peur des imprévus. Surveiller les risques est devenu essentiel pour les entreprises et leurs clients, en raison des menaces externes (marché, concurrence, législation) et internes (organisation, technologie, main-d'œuvre, renouvellement des produits)[39].

2.3.7 Potentiel de progrès

Les perspectives d'amélioration des performances d'une entreprise incluent des aspects comme le climat social, l'âge et l'ancienneté du personnel, l'organisation des ateliers, et la communication interne. Les entreprises ont réalisé que pour améliorer leurs performances, il ne suffit plus d'optimiser chaque fonction individuellement, comme la production et les achats. Il est désormais essentiel d'intégrer et de voir tous les processus de manière globale[39].

2.4 Les acteurs de la chaîne logistique

Toute organisation qui facilite l'acheminement des flux du point de départ jusqu'à la destination finale est considérée comme un maillon ou un acteur de la chaîne logistique. L'approvisionneur, l'acheteur, le producteur, le logisticien, le transporteur, et le client sont tous des

exemples de personnes. La chaîne logistique comprend un large panel d'acteurs qui cherchent à collaborer afin d'optimiser tous ses éléments. La gestion efficace de la chaîne logistique globale dépend de l'utilisation de logiciels de gestion et d'un langage digital commun [58].

Une chaîne logistique peut prendre trois formes possibles :

2.4.1 Une chaîne logistique directe :

est un système simplifié qui implique un nombre minimal d'intermédiaires. Elle se compose généralement de trois acteurs clés : une entreprise, son fournisseur, et son client [27]. (figure 2.2)

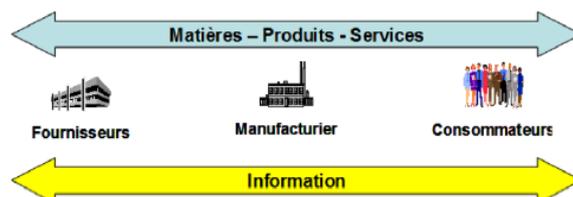


FIGURE 2.2 – La chaîne logistique directe (CLD) [58].

2.4.2 Une chaîne logistique étendue

Elle englobe l'ensemble des acteurs impliqués dans les flux de produits, services, finances et informations, en amont et en aval, depuis les fournisseurs des fournisseurs jusqu'aux clients des clients [27]. (figure 2.3)

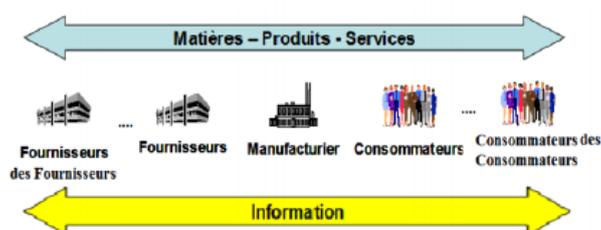


FIGURE 2.3 – La chaîne logistique étendue (CLE) [58].

2.4.3 Une chaîne logistique globale

Se distingue d'une chaîne logistique classique en se concentrant sur la dernière étape du parcours d'un produit ou service. Elle englobe tous les acteurs impliqués dans les flux en amont et en aval de produits, services, finances et informations, depuis le fournisseur final jusqu'au client final [27]. (figure 2.4)

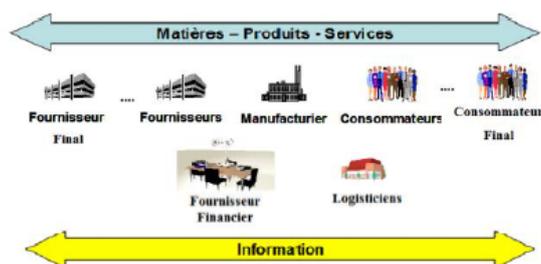


FIGURE 2.4 – La chaîne logistique finale (CLG) [58].

2.5 Les modèles organisationnels de la chaîne

La structure d'une chaîne logistique liée à la nature et des objectifs souhaités lors de la conception, la structure typique de la chaîne logistique usuelles rencontrées dans la nature sont décomposées en plusieurs structures :

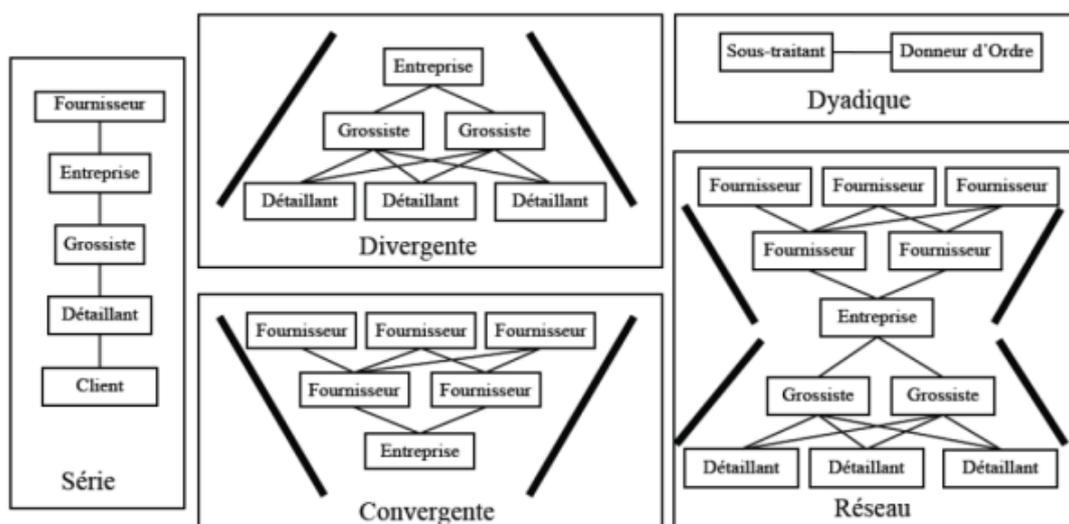


FIGURE 2.5 – Types des structures de la chaîne logistique[26].

2.5.1 Structure en série :

Se réfère à un processus de fabrication linéaire où chaque composant de la chaîne fournit exclusivement un autre composant en aval[7].

2.5.2 Structure divergente

Une structure est qualifiée de divergente lorsque un fournisseur approvisionne plusieurs clients. Cela permet de représenter un réseau de distribution dans les modèles logistiques[7].

2.5.3 Structure Dyadique

Cette structure implique deux entités et peut être vue comme une chaîne logistique en série composée de deux étapes. Elle peut être utilisée pour analyser les relations entre un client et un fournisseur d'un produit ou d'un service, y compris dans le cadre de la sous-traitance[50].

2.5.4 Structure Convergente

Ce type de structure est souvent utilisé dans les entreprises dont la chaîne logistique repose sur le processus d'assemblage. Dans ce scénario, plusieurs fournisseurs alimentent cette structure[44].

2.5.5 Structure réseau

La configuration du réseau consiste en une structure convergente et divergente qui permet de prendre en compte des chaînes logistiques plus complexes[7].

2.6 Les trois niveaux de flux de la chaîne logistique

Les trois types de flux qui traversent une chaîne logistique sont décrits ici : le flux d'information, le flux physique et le flux financier. On peut tirer ces trois flux des règles énoncées dans le contrat de partenariat. Effectivement, des accords établissent les liens entre chaque entreprise de la logistique, prévoyant notamment des pénalités en cas de retard de livraison d'un fournisseur ou de rupture de stock, déterminant qui gère le transport et les stocks entre les deux acteurs de la chaîne .

2.6.1 Le flux d'information

Le flux d'information dans la chaîne logistique implique les échanges de données entre tous ses acteurs, incluant les commandes commerciales entre clients et fournisseurs ainsi que des informations techniques comme les caractéristiques des produits et les niveaux de stock. Les progrès des Technologies de l'Information et de la Communication permettent des échanges plus rapides, mais la qualité des informations est cruciale, car des données incorrectes ou perdues peuvent affecter les décisions. Ainsi, les chaînes logistiques modernes nécessitent un accès continu à des informations clés pour des prises de décision rapides[3].

2.6.2 Le flux physique

Le flux physique englobe le transport et la transformation des marchandises tout au long de leur parcours, de la matière première aux produits finis à travers les étapes de production. Il justifie la nécessité d'un réseau logistique comprenant des sites de production, des moyens de transport et des espaces de stockage pour garantir un équilibre entre les différentes étapes et

faire face aux imprévus. En somme, ce flux résulte des activités de stockage et de transformation des produits, quel que soit leur état[43].

le flux physique est perçu comme le plus lent des flux et il est divisé en trois :

- **Les flux entrants** : En ce qui concerne la production, il y a divers types de flux entrants. En particulier, concernant les approvisionnements. En fonction du type de produits de l'entreprise il pourra s'agir d'approvisionnement : matières premières, pièces de rechanges, de composants ou autres....
- **Les flux circulants** : Les produits en cours de production, les sous-ensembles et les stocks intermédiaires font partie des flux circulants.
- **Les flux sortants** : Ils désignent les flux de produits finis lors de la distribution des produits finis de l'entreprise aux clients, que ce soit par le biais de revendeurs intermédiaires.

2.6.3 Les flux financiers

La gestion financière des entreprises englobe toutes leurs opérations financières, y compris les ventes, les achats de matières premières et d'équipements, les salaires et les investissements à long terme. Ce flux financier est généralement géré de manière centralisée, souvent par le département financier ou comptable, en collaboration avec les services d'achats et commerciaux. Les transactions avec des organismes bancaires externes font également partie de ce processus[35].

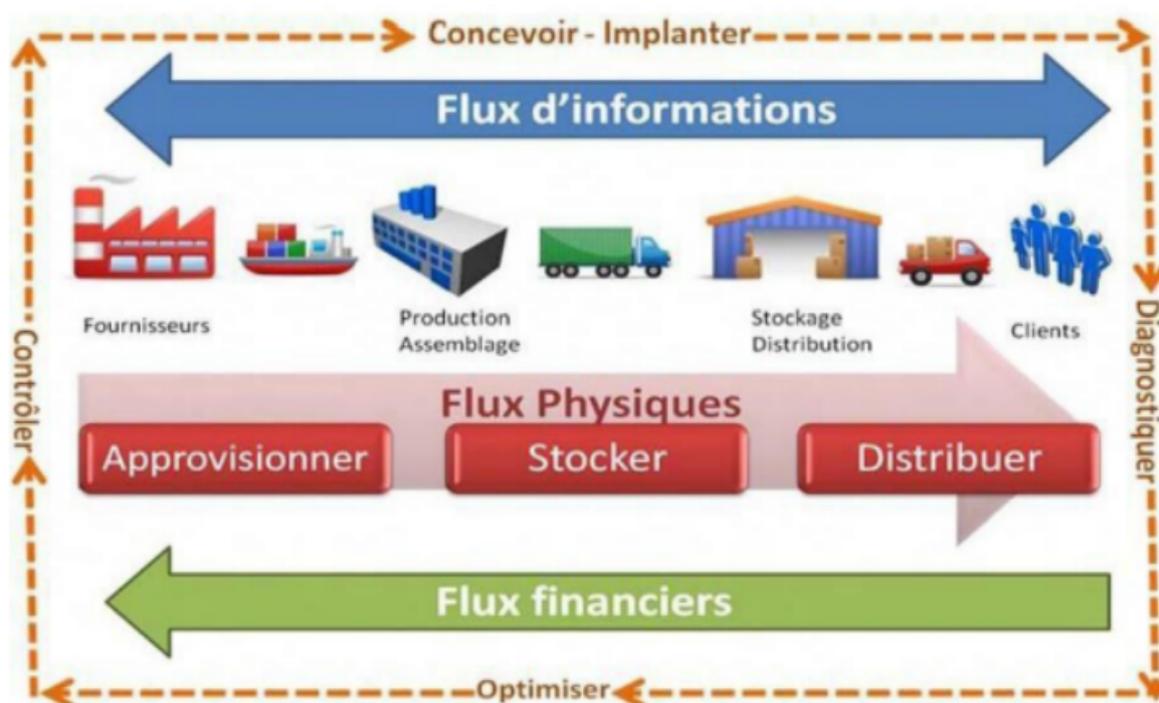


FIGURE 2.6 – Les flux de la chaîne logistique[58].

2.7 Les fonctions de la chaîne logistique

Les chaînes logistiques sont piliers de l'économie moderne, constituent un ensemble complexe d'activités inter-connectées. De l'approvisionnement en matières premières à la vente des produits finis, en passant par la production, le stockage et la distribution, chaque étape joue un rôle crucial dans la performance globale. Parmi les principales fonctions des chaînes logistiques, nous distinguons :

2.7.1 Approvisionnement

La démarche d'approvisionnement se concentre sur l'acquisition de tous les éléments nécessaires à la production, avec deux grandes étapes distinctes. Tout d'abord, il faut sélectionner les fournisseurs, en évaluant des critères tels que la qualité, le prix, les délais de réapprovisionnement et leur capacité de production. On peut opter pour un fournisseur unique ou diversifier les sources pour réduire les risques de rupture de livraison. Ensuite, une fois les fournisseurs choisis, la seconde étape consiste à passer les commandes de composants en fonction des besoins de production[35].

L'objectif est de pouvoir fournir une ressource (entrepôt, entité de fabrication, client) au bon moment et avec le meilleur prix tout en s'assurant de la qualité afin de diminuer les déchets.

2.7.2 Production

La production est l'activité qui représente le savoir-faire d'une entreprise afin de développer ou transformer des matières en produits ou services. Pour cela, l'entreprise combine différents facteurs afin de créer de la valeur. Les méthodes utilisées pour la gestion de la production cherchent à améliorer le flux des produits dans les ateliers de fabrication à travers la planification et l'ordonnancement, la détermination de la taille optimale des lots de production, la détermination des séries économiques[35].

2.7.3 Stockage

Un stock est généralement constitué de l'ensemble des biens susceptibles d'être utilisés dans l'activité de production depuis les matières premières jusqu'aux produits finis. Il est partagé entre les différents maillons qui constituent la chaîne d'approvisionnement. L'objectif est d'assurer une réactivité face aux fluctuations des demandes des clients sur le marché en essayant d'ajuster les flux de livraison et de consommation pour minimiser les coûts qui leurs sont rattachés[2].

2.7.4 Distribution et transport

La distribution est un élément clé de la chaîne logistique, assurant la livraison des produits finis aux clients. Cette phase cruciale nécessite une optimisation minutieuse des réseaux de distribution, incluant le choix des moyens de transport, la gestion des intermédiaires et des entrepôts. L'objectif principal est de trouver un équilibre optimal entre la qualité du service et les

coûts économiques[7].

Différentes approches sont utilisées pour analyser les problèmes liés à la distribution et au transport, telles que l'optimisation des itinéraires, l'identification des moyens de transport les plus efficaces et la détermination des quantités optimales à distribuer pour minimiser les coûts globaux[35].

2.7.5 La Vente

La fonction de vente occupe une place centrale au sein de la chaîne logistique assurant le lien crucial entre la production et les clients . En étant l'activité ultime de ce processus, une bonne optimisation de tout l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement se répercutera sur le bon déroulement des ventes en raison de la qualité du produit ou du service qui est mis en disposition des commerciaux qui vont se trouver dans une situation confortable vis à vis de la clientèle en proposant des prix attractifs et un service personnalisé[2].

2.8 Gestion de la chaîne logistique ' Supply Chain Management '

Bien que le terme "gestion de la chaîne logistique" soit courant, certains préfèrent l'appeler "gestion de la chaîne de demande" pour refléter que la chaîne doit être pilotée par le marché plutôt que par les fournisseurs. Le mot "chaîne" devrait également être remplacé par "réseau" puisqu'il implique généralement de multiples fournisseurs, fournisseurs de fournisseurs, clients et clients de clients dans le système total[32].

Le Supply Chain Management (SCM) fait l'objet de nombreuses définitions, comme :

Définition 1 : un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, producteurs et distributeurs, afin que la marchandise soit produite et distribuée au bon moment, au bon endroit et en quantité adéquate pour minimiser les coûts et assurer le service requis par le client" [Simchi-Levi et al.2000][5].

Définition 2 : un concept développé pour apporter une réponse personnalisée à la demande client en termes de qualité et service" [SEURING et MÜLLER,2008][3].

Définition 3 : la coordination des activités de production, gestion des stocks et transport entre partenaires, dans un but d'efficacité et de satisfaction des exigences du marché" [HUGOS, 2012][3].

En somme, le SCM regroupe les procédures internes et externes d'approvisionnement à la livraison visant à offrir les bons produits/services au bon prix, avec un nombre limité de problèmes, tout en réduisant coûts, stocks et délais pour le fournisseur[3].

Son objectif principal est d'optimiser les performances de la chaîne logistique de l'entre-prise et de l'ensemble du réseau, ce qui nécessite une participation active de tous les acteurs impliqués.

2.9 Niveaux de décisions dans la gestion de la chaîne logistique

Au sein d'une chaîne logistique, il y'a trois niveaux de prise de décisions :le niveau stratégique, le niveau tactique, et le niveau opérationnel. Chacun de ces niveaux est lié à un aspect temporel différent (figure 2.7) :

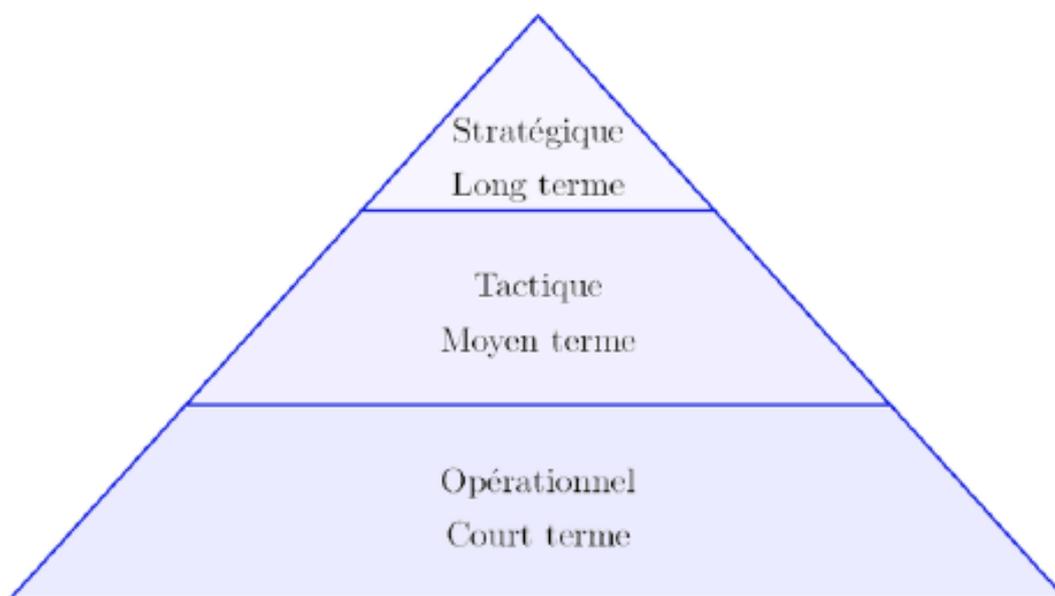


FIGURE 2.7 – La pyramide des décisions [58].

2.9.1 Le niveau stratégique

Les décisions stratégiques concernent le long terme et le réseau dans sa globalité. Ces décisions sont prises au plus haut niveau de l'entreprise et contraignent toutes les activités de planification aux niveaux tactique et opérationnel. Par exemple la recherche de la localisation des sites, une nouvelle gamme de produit, la décision de lancement sur un nouveau marché, un changement global de la gestion de la chaîne, etc[56].

2.9.2 Le niveau tactique

Se concentre sur les décisions à moyen terme nécessaires pour mettre en œuvre la stratégie globale de l'entreprise[14]. consiste à planifier les activités d'approvisionnement, de production, de distribution et des ventes, de façon à atteindre les objectifs fixés dans le plan stratégique.

2.9.3 Le niveau opérationnel

Le niveau opérationnel concerne les décisions à court terme qui affectent la façon dont les produits se déplacent le long de la chaîne logistique et assure son fonctionnement quotidien[7].

Ceci correspond à l'achat de matière première et des composants, à l'affectation de tâches de production (opérations) aux machines, à la détermination de tournées de transports et l'entreposage et à l'élaboration d'un plan détaillé de ventes.

2.10 Planification de la chaîne logistique ou Supply Chain Planning

La gestion de la supply chain est complexe, et il est impossible de prendre en compte tous les détails dans un plan. C'est pourquoi nous utilisons des modèles simplifiés pour la planification, qui tentent de prédire les futurs développements et les relations entre les différentes parties du système. Cependant, ces modèles ne peuvent pas toujours sélectionner les meilleures solutions parmi toutes les possibilités. La validité d'un plan est limitée dans le temps, et lorsqu'elle expire, un nouveau plan doit être établi pour refléter la réalité actuelle. Selon la durée de cet horizon de planification et l'importance des décisions, les tâches de planification sont généralement classées en trois niveaux différent[22] :

- **La planification long terme** : Les décisions de ce niveau sont appelées décisions stratégiques et doivent créer les conditions préalables au développement d'une entreprise/supply chain dans le futur. Elles concernent généralement la conception et la structure d'une supply chain et ont des effets à long terme, perceptibles sur plusieurs années.
- **La planification à moyen terme** : Dans le cadre des décisions stratégiques, la planification à moyen terme détermine les grandes lignes des opérations régulières, en particulier les quantités et les délais approximatifs pour les flux et les ressources dans la supply chain donnée. L'horizon de planification va de 6 à 24 mois, ce qui permet de prendre en compte les évolutions saisonnières, par exemple de la demande.
- **La planification à court terme** : Le niveau de planification le plus bas doit spécifier toutes les activités sous forme d'instructions détaillées pour une exécution et un contrôle immédiats. Par conséquent, les modèles de planification à court terme exigent le plus haut degré de détail et de précision. L'horizon de planification se situe entre quelques jours et 3 mois. Il s'agit d'un facteur important pour la performance réelle de la supply chain, par exemple en ce qui concerne les délais, les retards, le service à la clientèle et d'autres questions stratégiques.

2.11 Le rôle de la logistique dans les entreprises

La logistique est essentielle pour les entreprises car elle englobe toutes les activités nécessaires pour assurer la disponibilité des biens ou services. tout en optimisant la gestion des quantités, des délais et des coûts. Elle va bien au-delà de simplement organiser les transports et les flux de matières premières et de produits. En réalité, la logistique est une technique de contrôle de gestion qui gère les flux de matières premières et de produits depuis leurs sources d'approvisionnement jusqu'à leur point de consommation[39].

La logistique garantit une coordination efficace entre l'offre et la demande, en optimisant les

coûts tant au niveau stratégique (conception de la chaîne logistique) et tactique (planification et coordination), tout en préservant la qualité des relations fournisseur-client à long terme.

Elle est pour le but [4] :

- La gestion économique de la production, en évitant les ruptures de stocks coûteuses grâce à une information constante sur l'état du marché ;
- La diminution des stocks en favorisant une rotation rapide des marchandises stockées ;
- La réponse adaptée à une demande très volatile ;
- La livraison du produit chez le client final dans les délais les plus courts et au meilleur coût de distribution possible ;
- La surveillance et l'amélioration de la qualité de la chaîne qui relie le producteur au consommateur afin d'atteindre un service rendu "zéro défaut".

Partie II : Métaheuristique

2.12 Définition

A l'origine, méta-heuristique est un mot grec composé de méta qui veut dire « au-delà » et heuristique du verbe grec heuriskein , qui signifie « trouver » . Les méta-heuristiques sont des méthodes utilisées pour décrire une discipline issue de domaine de l'optimisation stochastique . Ces méthodes sont, en général, présentées sous la forme de Concept. Comme nous le verrons plus tard, elles reprennent des idées que l'on retrouve parfois dans la vie courante. Les principales méta-heuristiques sont le recuit simulé, la recherche tabou et les algorithmes génétiques. Ces méthodes ont des inspirations de l'éthologie comme les colonies de fourmis, de la physique comme le recuit simulé, et de la biologie comme les algorithmes évolutionnaires[31].

2.13 Méta-heuristique vs heuristique

Les méthodes heuristique et méta-heuristique sont souvent confondues . En fait toutes les deux essaient de trouver des solutions à des problèmes d'optimisation dans un délai raisonnablement court . En effet , une méta-heuristique définit une structure de base d'un algorithme que l'on peut adapter et utiliser dans les résolutions de plusieurs problèmes d'optimisation de plus elle peut regrouper plusieurs heuristique lors de la résolution des problèmes.

De l'autre côté ,les heuristique sont des algorithmes spécialement créés pour trouver des solutions pour des problèmes bien précis. Ainsi , la connaissance de problème à résoudre est nécessaire pour définir une heuristique [47].

2.14 Classification des méta-heuristique

On peut considérer plusieurs classifications des méta-heuristique. Dans la figure suivante (2.8), on voit un classement de ces méthodes selon le principe d'inspiration utilisé, et ce qu'il est basé.

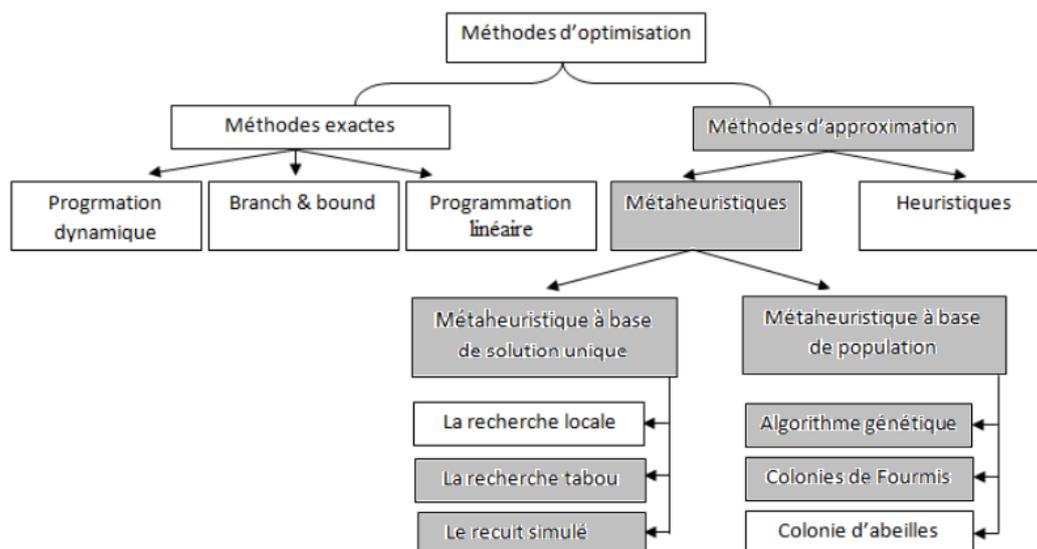


FIGURE 2.8 – Classification des méthodes d'optimisation combinatoire[16].

Malgré la grande variété des méta-heuristiques (telles que les algorithmes génétiques, la recherche tabou, le recuit simulé, les systèmes de fourmis,...), elles partagent souvent des principes similaires. Selon Taillard[13], il existe trois composantes à toutes les méta-heuristiques figure (2.9) :

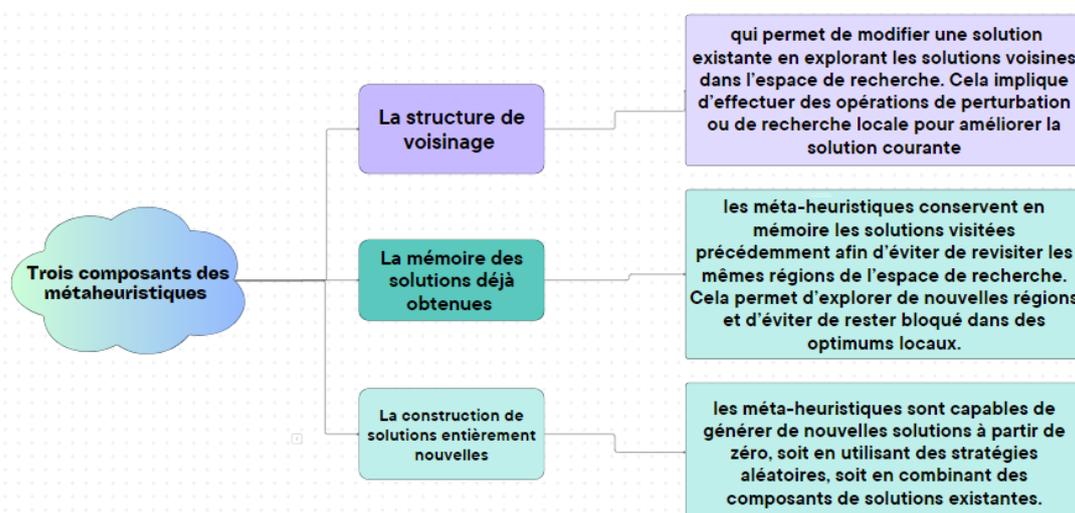


FIGURE 2.9 – Les trois composants des méta heuristiques [13]

Ainsi, chaque méta-heuristique utilise au moins l'un de ces trois éléments. De plus, il est de plus en plus courant de combiner différentes méta-heuristiques pour obtenir des heuristiques performantes. Taillard[12] propose même une unification de la plupart des méta-heuristiques connues actuellement, sous le nom de "programmation à mémoire adaptative". On peut classer les méta-heuristiques, en se basant sur le type de solution en deux classes distinctes comme indiqué dans la Figure (2.8).

Une métaheuristique est donc une méthode très universelle, qui ne requiert que quelques modifications (en général mineurs) avant d'être utilisée pour résoudre un problème spécifique. En examinant les différentes méthodologies, on remarque que celles-ci se divisent principalement en trois catégories [29] :

- **Méthodes déterministes de recherche d'optimum local** : La plupart du temps, ces méthodes se rapprochent rapidement, mais elles ne parviennent pas à atteindre l'optimum global. Elles se limitent à la recherche d'un optimum local et ne se basent pas sur un processus stochastique pour trouver l'optimum (voir 2.10(a))
- **Méthodes déterministes de recherche d'optimum global** : Ces méthodes offrent la possibilité de trouver rapidement un optimum global et ne se basent pas sur un processus stochastique pour trouver l'optimum (voir 2.10(b))
- **Méthodes stochastiques de recherche d'optimum global** : Ces approches sont basées sur un processus stochastique qui a pour objectif de trouver l'optimum. Les méthodes déterministes sont moins efficaces (en termes de rapidité) que celles-ci, mais elles peuvent parvenir à un optimum global difficile à atteindre (voir 2.10 (c)).

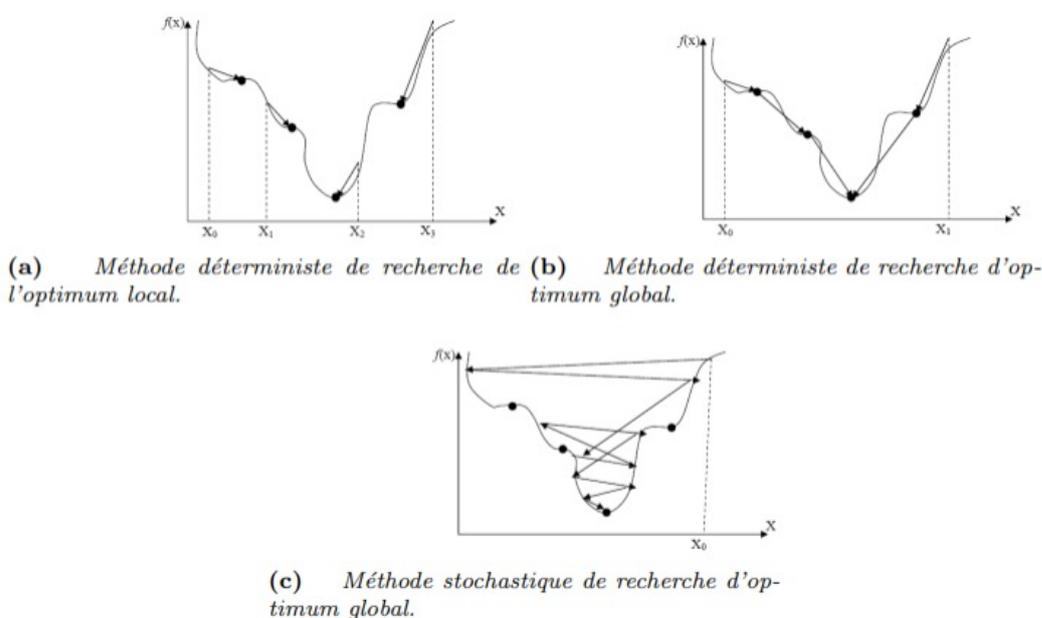


FIGURE 2.10 – Différentes familles de métaheuristiques[29] .

2.15 Méta-heuristiques à base de solution unique

En général, l'algorithme essaie d'améliorer une seule solution initiale créée de manière aléatoire en se dirigeant vers les zones de l'espace de recherche qui améliorent la qualité de la solution. Ces méthodes utilisent l'évolution itérative d'une solution dans l'espace de recherche pour atteindre un optimum global. Les méthodes qui respectent cette définition incluent le recuit simulé et la recherche tabou[47].

2.15.1 Recuit simulé

Définition

Le recuit simulé (Simulated Annealing ou SA), développé simultanément par Kirk en 1983 [46] et Cerny en 1985[54], est souvent présenté comme la plus ancienne des méta-heuristiques pour approximer le minimum global d'une fonction à plusieurs variables, inspirée du processus de refroidissement lent utilisé en métallurgie.

Principe

Cette méthode est basé sur l'algorithme de Metropolis et al[36] s'inspire du refroidissement contrôlé des métaux pour minimiser les défauts énergétiques[7]. Un paramètre de température décroissante permet d'explorer l'espace de recherche en s'éloignant des minimums locaux à haute température[59]. À basse température, on converge vers les états les plus probables selon une distribution de Boltzmann[21].

2.15.2 Recherche Tabou

Définition

La Recherche Tabou est une méta-heuristique originalement développée par Glover en 1986[15] spécifiquement pour des problème d'optimisation combinatoire. c'est une méthode de recherche locale avancée qui utilise des règles et mécanismes intelligents pour trouver un compromis entre la qualité de la solution et le temps de calcul. Elle se base sur le voisinage et une mémoire sous forme de liste tabou[21].

Principe

Le principe de la recherche tabou est d'explorer le voisinage de la solution courante, en retenant la meilleure solution voisine même si elle est de moins bonne qualité, afin de trouver l'optimum global. Pour éviter le phénomène de cyclage, elle utilise une mémoire sous forme de liste tabou limitée, qui stocke les dernières solutions visitées pour ne pas les revisiter. Cette liste fonctionne comme une pile FIFO, où la plus ancienne solution est supprimée pour faire place à la dernière[7].

2.16 Méta-heuristiques à base de population

Elles sont également appelées des méthodes évolutives parce qu'elles permettent de faire évaluer une population initiale de solution vers des solutions plus intéressantes en suivant des règles bien précises[47].

2.16.1 Méthode de colonies de fourmis

Définition

L'optimisation par colonie de fourmis (ACO : Ant Colony Optimization) a été initialement introduite par Marco Dorigo et ses collègues [33].

Les méthodes d'optimisation basées sur les colonies de fourmis sont des algorithmes qui se basent sur le comportement des fourmis et qui forment une famille de méta-heuristiques. Il s'agit d'un algorithme itératif à population où chaque personne partage un savoir commun qui lui permet de orienter ses choix à venir et de recommander aux autres des chemins à suivre ou, au contraire, à éviter.

Principe

Le premier algorithme qui s'inspire de cette analogie a été proposé en 1996 par Coloni, Dorigo et Maniezzo [34]. Les algorithmes de colonies de fourmis s'inspirent du comportement collectif des insectes sociaux, en particulier des fourmis, qui résolvent naturellement des problèmes complexes. Ce comportement est rendu possible grâce à la communication indirecte entre les fourmis, réalisée par le dépôt de phéromones sur le sol et le suivi des traces laissées par leurs congénères. En construisant ainsi une solution à un problème, elles prennent en compte leur expérience collective. Pour trouver une solution, les fourmis utilisent la notion du plus court chemin, optimisant ainsi leur recherche de manière efficace et collaborative[21]. Voici la (figure 2.11).

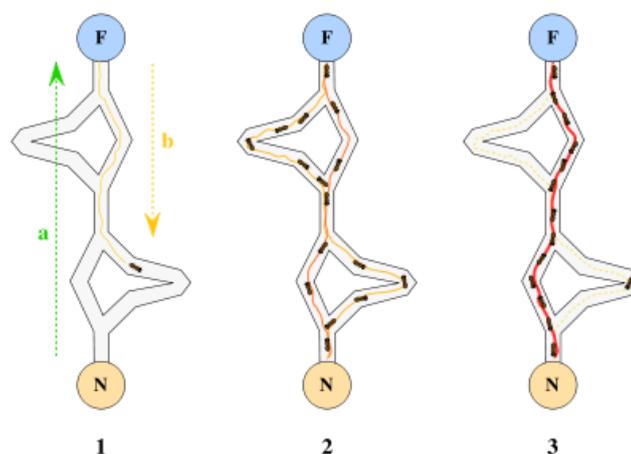


FIGURE 2.11 – schéma de méthode de colonies de fourmis [20].

2.16.2 Les algorithmes génétiques

Définition

Les algorithmes génétiques (GA) sont parmi les techniques les plus populaires et utilisées parmi les algorithmes évolutionnaires. Développés dans les années 1970 par John Holland à

l'Université du Michigan, et popularisés par l'ouvrage de David E. Goldberg en 1989, ces algorithmes s'inspirent de la biologie, utilisant des chaînes binaires pour représenter les solutions et des opérateurs génétiques (sélection, mutation, croisement) pour optimiser ces solutions [25].

Principe

Ce qui distingue principalement les algorithmes génétiques, c'est la représentation des données du génotype. Initialement, les données étaient représentées sous forme d'un vecteur binaire, mais elles peuvent aussi être représentées sous forme d'une chaîne de caractères ou d'autres structures plus complexes[25].

Chaque étape de GA est associée à un opérateur décrivant la façon de manipuler les individus[29] :

■ Sélection :

Pour déterminer quels individus sont plus enclins à se reproduire, une sélection est opérée. Il existe plusieurs techniques de sélection, les principales utilisées sont la sélection par tirage à la roulette (roulette-wheel selection), la sélection par tournoi (tournament selection), la sélection par rang (ranking selection), etc [Goldberg Deb, 1991 ; Blickle Thiele, 1995].

■ Croisement :

L'opérateur de croisement regroupe les caractéristiques d'un groupe de parents préalablement choisis (généralement deux) et crée de nouveaux individus enfants. Là encore, il existe de nombreux opérateurs de croisement, par exemple le croisement en un point, le croisement en n-points ($n \geq 2$) et le croisement uniforme 5 .

■ Mutation :

Les descendants sont mutés, c'est-à-dire que l'on modifie aléatoirement une partie de leur génotype, selon l'opérateur de mutation.

■ Remplacement :

Le remplacement (ou sélection des survivants), comme son nom l'indique, Remplace certains des parents par certains des descendants. Le plus simple est de prendre les meilleurs individus de la population, en fonction de leurs performances respectives, afin de former une nouvelle population (typiquement de la même taille qu'au début d'itération).

Conclusion

Le chapitre a permis d'introduire les concepts clés de la logistique et de la gestion de la chaîne logistique (SCM). Nous avons présenté les différents flux (physiques, informationnels, financiers) ainsi que les principales activités logistiques. Nous avons également abordé les différents niveaux de décision et de planification dans une chaîne logistique.

Enfin, une large partie a été consacrée à la présentation des principales méta-heuristiques utilisées pour résoudre les problèmes complexes d'optimisation en logistique, notamment le recuit simulé, la recherche tabou, les colonies de fourmis et les algorithmes génétiques.

3

Méthodes et résolutions

Introduction

L'entreprise, réalise plusieurs activités qui lui permettent de survivre. Ces activités étant effectuées à l'intérieur de la firme, demandent une attention particulière Afin de garantir leur coordination et d'optimiser leurs dépenses. Le transport étant la fonction qui permet à l'entreprise de se mettre dans le noyau de l'activité industrielle ou commerciale, doit être aperçue comme l'élément représentant la base et le point de départ de chaque étude.

Dans le domaine de la logistique et de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la localisation stratégique des centres de distribution et l'optimisation des itinéraires d'acheminement des produits revêtent une importance cruciale pour les entreprises. Ces décisions logistiques ont un impact direct sur les coûts opérationnels, la satisfaction des clients et la compétitivité sur le marché. Le problème de localisation et d'acheminement consiste à déterminer de manière optimale les emplacements des centres de livraison régionaux (CLRs) et comment acheminer efficacement les produits vers les clients tout en minimisant les coûts totaux.

3.1 Problème d'optimisation combinatoire

Les problèmes d'optimisation combinatoire sont des problèmes d'optimisation dont les ensembles réalisables sont finis mais combinatoires. Aussi, le nombre de solutions réalisables des problèmes combinatoires augmente exponentiellement en fonction de la taille du problème, et c'est ce qui exclut des méthodes de résolution basées sur l'énumération de toutes les solutions réalisables. Généralement l'ensemble admissible X d'un problème d'optimisation combinatoire est défini comme un sous-ensemble de l'ensemble des parties d'un ensemble fini d'éléments E , i.e. $E = e_1, \dots, e_n$ et $X \subseteq 2^E$. Un problème d'optimisation combinatoire peut aussi être formalisé comme un problème d'optimisation en variables binaires. En associant une variable x_i à tout élément e_i de E , tout sous-ensemble de E peut être représenté par un vecteur $x = (x_1, \dots, x_n)$, avec $x_i = 1$ si e_i appartient au sous-ensemble et $x_i = 0$ sinon [24].

3.1.1 Localisation en optimisation combinatoire

Définitions et synthèse :

La science de la localisation (location science) possède une longue histoire, car dès le 17ème siècle, Pierre de Fermat a établi la définition du problème du médian géométrique, plus tard connu sous le nom de problème de Fermat-Weber [Weber 1929]. En prenant en compte les points x_1, x_2, \dots, x_m , comme $x_i \in R^n \forall i = 1, \dots, m$, le médian géométrique m_g est défini comme le point y qui réduit la somme des distances euclidiennes vers tous les x_i . En termes mathématiques, cela peut être écrit :

$$m_g = \arg \min_{y \in R^n} \sum_{i=1}^m \|x_i - y\|_2 \quad (3.1)$$

De nombreuses études sont réalisées dans ce domaine à partir des années 1960 et il existe aujourd'hui des journaux et des revues spécialisés dans la localisation, avec une production d'articles importante. Nous exposons ici une revue de l'état de l'art des problèmes de localisation classiques qui figure au cœur de notre étude [24] :

Problème de localisation d'installation sans capacités

Le problème de localisation d'installation sans capacités (Uncapacitated Facility Location Problem (UFLP)), aussi connu sous le nom de Simple Plant Location Problem, est l'un des problèmes les plus répandus et analysés. L'objectif est de sélectionner des sites parmi un ensemble de sites potentiels appelé U , et de déterminer comment les clients de l'ensemble appelé V seront affectés aux sites ouverts. Il convient de souligner que dans les réseaux, il arrive que les sites soient parfois appelés concentrateurs et les clients terminaux. Lorsqu'un site i est ouvert, il y a un coût associé correspondant par exemple au coût de construction dans le cas d'une usine ou d'un entrepôt, que l'on note c_i . Les clients, qui sont représentés par des points de contact dans le réseau, doivent pouvoir accéder à un site ouvert, bien sûr le plus proche ou le plus abordable. Le but est de minimiser au maximum les dépenses liées à l'ouverture des sites et aux frais de connexion des clients aux sites ouverts.

Il est envisageable de présenter le UFLP sous la forme d'un programme linéaire en nombre entier.

Il est indiqué que U correspond à tous les sites potentiels, V correspond à tous les clients, C_i correspond au coût d'ouverture du site i et C_{ij} correspond au coût d'affectation du client j au site i . La variable binaire z_i est notée pour chaque site $i \in U$, telle que : $z_i = 1$ si et seulement si le site en i est ouvert, et $z_i = 0$ sinon. En ce qui concerne chaque client $j \in V$ et chaque site $i \in U$, la variable x_{ij} est définie de la manière suivante : $x_{ij} = 1$ si le client j est affecté au site i , et $x_{ij} = 0$ sinon. Il est prévu de prendre une décision concernant l'ouverture de sites et l'affectation des clients à un site, afin de réduire au minimum les coûts associés à leur ouverture et à leur affectation.

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \sum_{i \in U} C_i z_i + \sum_{i \in U} \sum_{j \in V} c_{ij} * x_{ij} \quad (3.2) \\ \sum_{i \in U} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \quad (3.3) \\ x_{ij} \leq z_i, \quad \forall i \in U, j \in V \quad (3.4) \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in U, j \in V \quad (3.5) \\ z_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in U \quad (3.6) \end{array} \right.$$

Les contraintes (3.3) et (3.5) garantissent que chaque client est connecté à un site précis. En raison des contraintes (3.4), un client j ne pouvait être connecté à un site i que si celui-ci était ouvert. Les contraintes (3.6) imposent l'intégrité des variables z . Finalement, la fonction objectif correspond à la somme du coût d'ouverture des sites et du coût de connexion des clients aux sites [24].

Problème de localisation d'installation avec capacités

Le problème de localisation d'installation sans capacités (Capacitated Facility Location Problem (CFLP)) est une variante du UFLP où les sites sont restreints en capacité. En prenant en compte la capacité du site i et la demande du client j , il est stipulé que la contrainte de capacité impose que la somme des demandes des clients connectés au site j ne dépasse pas Q_i . Il conviendra donc de définir formellement ce type de problème de localisation avec contraintes de capacité, qui constitue le cœur de notre recherche

On fournit une formulation PLNE du problème :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \sum_{i \in U} C_i z_i + \sum_{i \in U} \sum_{j \in V} c_{ij} * x_{ij} \quad (3.7) \\ \sum_{i \in U} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \quad (3.8) \\ \sum_{j=1}^n d_j x_{ij} \leq z_i * Q_i, \quad \forall i \in U, j \in V \quad (3.9) \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in U, j \in V \quad (3.10) \\ z_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in U \quad (3.11) \end{array} \right.$$

Selon les contraintes (3.9), il est garanti que la quantité des demandes des clients j affectés au site i ne dépasse pas la capacité Q_i de ce site. En outre, si $z_i = 0$, tel que défini par la contrainte (3.4), un client ne pourra pas être affecté au site i qui est fermé [24].

3.2 Programmation linéaire en nombres entiers

La programmation linéaire en nombres entiers est un domaine très riche de la programmation mathématique. Les recherches dans ce domaine sont nombreuses et ont vu leurs naissances en 1958. Un problème de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) est un programme linéaire, sous des contraintes linéaires, dans lequel il y a la contrainte supplémen-

taire que les variables sont entières. Sa forme générale s'écrit comme suit :

$$(\text{PLNE}) = \begin{cases} \text{Opt } Z_{LP}(X) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.c} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq, \geq, = b_i, & \forall i = 1, \bar{m} \\ x_j \geq 0, & \forall j = 1, \bar{n} \\ x_i \text{ entier} & j = 1, \bar{k} (k \leq n) \end{cases} \quad (3.12)$$

3.3 Les éléments d'un problème mathématique

Le modèle de programmation linéaire est composé de trois éléments essentiels [49] :

◆ Variable de décisions :

La première étape dans le processus de modélisation consiste à identifier de manière adéquate toutes les variables de décision. Ces dernières symbolisent les variables inconnues ou que l'on peut orienter dans le système étudié.

◆ Fonction objectif :

consiste à attribuer un coefficient économique à chaque variable de décision identifiée dans le modèle. Pour résoudre un problème de programmation linéaire, il est nécessaire de déterminer les valeurs des variables de décision qui maximisent (ou minimisent selon le cas) une fonction économique soumise à un ensemble de contraintes.

◆ Contraintes :

En ce qui concerne la prise de décision, il est essentiel d'être capable de repérer toutes sortes de contraintes (comme la main-d'œuvre, le budget, etc.) qui peuvent restreindre les valeurs que peuvent prendre les variables de décision. Le domaine de solution admissible (valeurs possibles des variables de décision) du modèle mathématique est constitué de toutes les contraintes ainsi formulées.

3.4 Récolte de données

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

- La liste des centres de livraison régionaux CLR de l'entreprise ainsi que leurs capacité de stockage en palette ;
- Les coûts d'exploitations de chaque CLR en DA/semaine ;
- Les demandes des grossistes par semaine ;
- Les coût de transport CLR grossistes en DA/Semaine /palette ;

Remarque : Les données récoltées sont approximatives

Ces données sont représentées dans les tableaux suivant :

TABLE 3.1 – Capacité de stockage des CLR's en palettes

CLR's de centre	capacité
15-Tizi ouzou	8000 plts
16-Alger	10000 plts
09-Blida	9000 plts
35-Boumerdas	11000 plts
06-Béjaia	9500 plts

TABLE 3.2 – Les coûts d'exploitation des CLR's

CLR's	Coût d'exploitation
15-Tizi ouzou	94383 DA/S
16-Alger	75073 DA/S
09-Blida	72432 DA /S
35-Boumerdas	79311 DA /S
06-Béjaia	67789 DA /S

TABLE 3.3 – Les demandes des grossistes par semaine

Grossiste	Demande	Grossiste	Demande
G1	97 plts/s	G16	112 plts/s
G2	81 plts/s	G17	107 plts/s
G3	139 plts /s	G18	81 plts/s
G4	108 plts /s	G19	88 plts/s
G5	125 plts /s	G20	85 plts/s
G6	118 plts/s	G21	118 plts/s
G7	111 plts/s	G22	113 plts/s
G8	112 plts/s	G23	116 plts/s
G9	139 plts /s	G24	88 plts/s
G10	85 plts/s	G25	88 plts/s
G11	107 plts/s	G26	84 plts/s
G12	80 plts/s	G27	128 plts/s
G13	114 plts/s	G28	82 plts/s
G14	100 plts/s	G29	81 plts/s
G15	86 plts/s	G30	122 plts/s

Remarque : Les données des coûts de transport (CLR's/Grossiste) Annex(4.3)

3.5 Modélisation mathématique du problème

La recherche opérationnelle peut remédier à une large gamme de problème concernant la gestion organisationnelle optimale des ressources, il est généralement nécessaire de cerner et de bien comprendre le problème en question et de le modéliser sous forme mathématique.

3.6 Étapes pratiquées

Pour résoudre un problème d'optimisation, il faut suivre les étapes suivantes [49] :

1. Définition du problème
2. Formulation du modèle
3. Choix de la méthode d'optimisation
4. Résolution du modèle
5. Analyse des résultats
6. Validation et itérations

3.6.1 Définition du problème

L'entreprise Cevital s'appuie sur un vaste réseau productif comprenant de nombreuses usines stratégiques qui doivent assurer une alimentation optimale d'une infrastructure logistique mise en place à l'échelle nationale. . Cette dernière se compose de trois plateformes majeures de stockage : El Khroub à Constantine , Hassi Ameur à oran et Bouira, qui desservent à leur tour un réseau de 12 centres de livraison régionaux répartis sur l'ensemble du territoire algérien.

Notre problème réside dans l'optimisation de l'acheminement des palettes d'huile (ELIO 5 litres) depuis ces Centres de Logistique Régionale (CLRs) vers les différents clients. Il s'agit de déterminer quels CLRs activer parmi l'ensemble des sites potentiels, et de planifier les itinéraires d'expédition optimaux permettant de répondre à la demande de chaque client en palettes d'huile en utilisant un minimum de ressources. L'objectif est de minimiser les coûts globaux, incluant les coûts de transport des palettes d'huile et les coûts d'exploitation des CLRs, tout en garantissant la pleine satisfaction des exigences de livraison de l'ensemble de la clientèle et en maintenant ainsi un fonctionnement rentable du réseau logistique tout en respectant les contraintes.

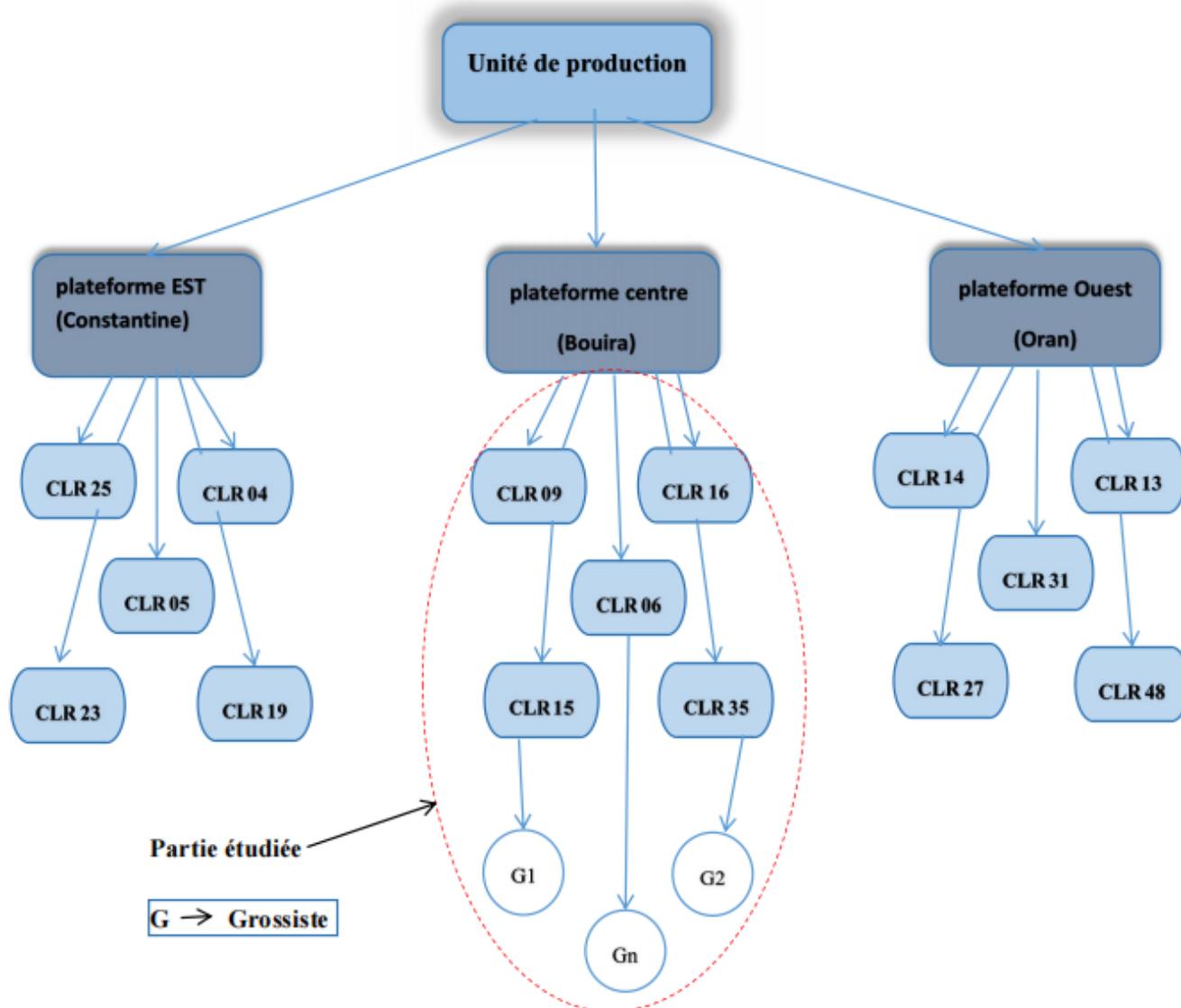


FIGURE 3.1 – Les principales étapes de distribution

Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons sur l'optimisation du réseau logistique dans la région centrale de l'Algérie, impliquant les Centres de Logistique Régionale suivants : CLR 09 (Blida), CLR 16 (Alger), CLR 06 (Béjaia), CLR 15 (Tizi Ouzou), CLR35 (Boumerdas). Ces CLR stratégiques desservent une large part de la demande client, ce qui nous a poussé à effectuer notre étude au niveau de cette région centrale.

3.6.2 Formulation du problème

■ Notation :

Les indices :

i : indice des CLR, $i = 1, 2, \dots, 5$.

j : indice des clients, $j= 1, 2, \dots, 30$.

Les paramètres :

c_{ij} : coût de transport du CLR i au client j ;
 f_i : coût d'exploitation du CLR i ;
 D_j : demande du client j en termes de produits ;
 C_i : capacité de stockage du CLR i ;

■ Les variables de décisions :

x_{ij} : quantité expédiée du CLR i vers le client j ;
 y_i : variable binaire indiquant si le CLR i est activé (1) ou non (0) ;

■ Les contraintes :

◆ contrainte de Demande des clients j :

$$\sum_{i=1}^5 x_{ij} = D_j, \quad \forall j=1, 2, \dots, 30 \quad (3.13)$$

Chaque client j doit recevoir sa demande totale.

◆ contrainte de Capacité des CLR*s* i :

$$\sum_{j=1}^{30} x_{ij} \leq C_i * y_i, \quad \forall i=1, 2, \dots, 5 \quad (3.14)$$

La quantité expédiée depuis chaque CLR i ne doit pas dépasser sa capacité si le CLR est activé.

◆ contrainte Activation des CLR*s* :

$$x_{ij} \leq M * y_i \quad (3.15)$$

M est une constante représentant une grande valeur, assurant que si le CLR i est désactivé ($y_i = 0$), aucune quantité ne peut être expédiée depuis ce CLR. Autrement, Assure que les produits ne peuvent être expédiés que depuis les CLR*s* activés.

◆ contrainte des Variables binaires :

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i=1, 2, \dots, 5 \quad (3.16)$$

Les variables binaires y_i déterminent si un CLR est activé ou non.

◆ Contrainte de non-négativité : $x_{ij} \geq 0$

■ La fonction objectif :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{30} c_{ij} * x_{ij} + \sum_{i=1}^5 f_i * y_i \quad (3.17)$$

où :

c_{ij} : coût de transport du CLR i au client j .

f_i : coût d'exploitation du CLR i .

■ Le modèle général peut être écrit comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{30} c_{ij} * x_{ij} + \sum_{i=1}^5 f_i * y_i \\ \sum_{i=1}^5 x_{ij} = D_j, \quad \forall j=1, 2, \dots, 30 \\ \sum_{j=1}^{30} x_{ij} \leq C_i * y_i, \quad \forall i=1, 2, \dots, 5 \\ x_{ij} \leq M * y_i, \quad \forall i=1, 2, \dots, 5, \forall j=1, 2, \dots, 30 \\ y_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i=1, 2, \dots, 5 \\ x_{ij} \geq 0 \quad \forall i=1, 2, \dots, 5, \forall j=1, 2, \dots, 30 \end{array} \right. \quad (3.18)$$

Ce problème d'optimisation combinatoire optimise à la fois la localisation des installations (CLRs) et les flux de transport pour minimiser les coûts totaux tout en garantissant la satisfaction des clients.

Le problème de localisation et d'acheminement apparaît comme un problème clé dans la conception de réseaux de distribution de marchandises.

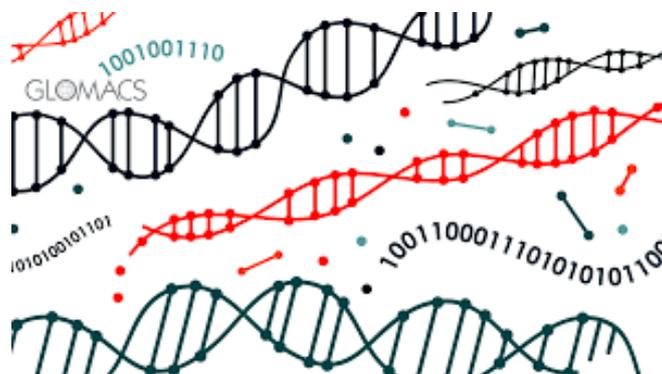
3.6.3 Méthode de résolution

Malgré la petite taille de notre problème d'optimisation logistique, les approches traditionnelles sont souvent limitées pour résoudre de telles grandes problématiques logistiques avec leurs multiples contraintes. C'est là que réside l'importance des algorithmes génétiques. Ces derniers excellent à explorer en parallèle l'ensemble des solutions potentielles tout en gérant les diverses contraintes. Leur rapidité de calcul et leur capacité à traiter simultanément différents scénarios en font des outils particulièrement performants pour ce type de défis logistiques. C'est pourquoi nous avons choisi la méthode exacte de branch and bound dans le but de déterminer l'efficacité des algorithmes génétiques pour ce problème de petite taille, et ainsi de confirmer leur potentiel pour des problèmes de plus en plus complexes et de grande envergure.

3.6.3.1 Les Algorithmes génétiques

Définition

Les algorithmes génétiques (AG) s'inspirent de la théorie de l'évolution de Charles Darwin, où les individus les plus adaptés survivent et se reproduisent. Basés sur des principes génétiques et de survie, ces algorithmes utilisent des mécanismes stochastiques, combinant hasard et exploitation des informations pour explorer de nouveaux points.



Ils sont particulièrement efficaces pour résoudre des problèmes avec plusieurs optimums locaux, des fonctions discontinues, ou des fonctions à plusieurs dimensions, là où les méthodes classiques échouent à prendre en compte les interactions complexes entre les paramètres[55].

Terminologie et éléments de base

Les extrêmes d'une fonction définie sont recherchés par un algorithme génétique dans un espace de données appelé population. En analogie avec la génétique, chaque individu de cette population est un chromosome et chaque caractéristique de l'individu est un gène. Un gène sera représenté par un bit (0 ou 1), tandis qu'un chromosome sera représenté par une chaîne de bits. Chaque gène est une composante essentielle du problème, il peut être considéré comme une variable et peut prendre des valeurs différentes connues sous le nom d'allèles. Le locus est la position du gène dans le chromosome [6].

Il y a aussi le génotype et le phénotype. Le génotype, qui représente l'ensemble des valeurs des gènes, correspond à l'ensemble des normes des gènes du chromosome, tandis que le phénotype, qui représente la solution réelle après la transformation du chromosome. Au moment de la création d'une nouvelle population, il est essentiel d'utiliser des acteurs génétiques tels que la sélection, le croisement et la mutation afin de manipuler les chromosomes[25].

Principe de fonctionnement des AGs

(La figure 3.5) illustre le principe qui peut servir à décrire le fonctionnement de tout AG.

En règle générale, pour exploiter de manière optimale le potentiel d'un AG, quel que soit le problème abordé, il est essentiel de se conformer aux principes fondamentaux suivants [17] :

1. En général, une phase de modélisation mathématique du problème traité est suivie d'un principe de codage de la population. La réussite d'un algorithme génétique est conditionnée par la qualité du code des données.
2. Un processus initial de génération de population. Ce mécanisme doit être capable de reproduire une population de personnes qui sera le fondement des générations à venir. L'importance de la population initiale réside dans son impact sur la vitesse de convergence vers l'optimum global .

3. Proposer une fonction d'évaluation appelée "fitness". Elle vise à évaluer une solution et à la comparer aux autres.
4. Un mécanisme de sélection choisit les individus (parents) en fonction de leur adaptation pour un éventuel couplage.
5. Les opérateurs de croisement et de mutation sont appliqués :
 - Le croisement est effectué sur les parents P_1 et P_2 avec une probabilité P_c , générant des enfants C_1 et C_2
 - La mutation est appliquée sur certains individus P avec une probabilité P_m (généralement $P_m \ll P_c$), produisant des individus mutés P'
6. L'adaptation des enfants (C_1, C_2) et des individus mutés P' est évaluée avant leur insertion dans la nouvelle population
7. Un système d'insertion sélectionne N individus parmi les parents et les enfants pour former la nouvelle population, assurant un équilibre entre anciennes et nouvelles solutions.
8. Le processus est itéré jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint, qui peut être un nombre fixe d'itérations ou basé sur l'évolution de la population..

Concepts des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont soutenus par cinq niveaux d'organisation. Selon la présentation sur la figure (3.2)

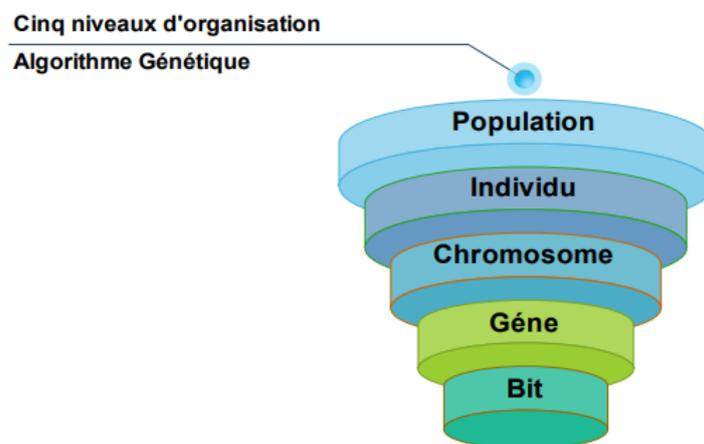


FIGURE 3.2 – Les cinq niveaux d'organisation dans les algorithmes génétiques[28]

Bit : Cette unité est la plus petite pour représenter une donnée.

Gène : À chaque variable d'optimisation x_i , un gène est associé..

Chromosome : Un chromosome est composé d'un groupe de gènes , figure (3.3). Tout les dispositifs sont symbolisés par un chromosome

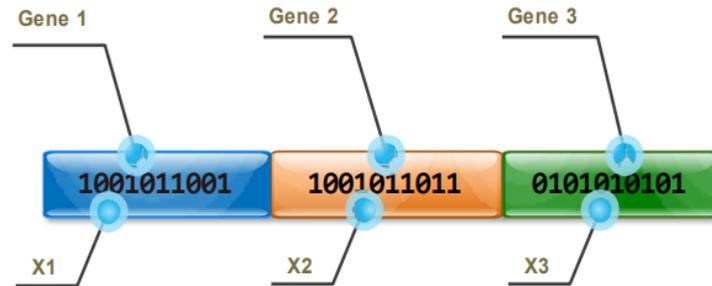


FIGURE 3.3 – Codage des variables[28]

Individu : Un individu est composé d'un ou de plusieurs chromosomes.

Population : Une population se compose d'un groupe de N personnes qui vont évoluer.

Génération : C'est la population à l'étape i [6]. Une génération peut être représentée par la figure (3.4)



FIGURE 3.4 – Présentation de la population à une génération i [28]

A quoi sert l'algorithme génétique ?

Les problèmes résolus par l'algorithme génétique ne possèdent pas de méthode de résolution précise ou dont la solution exacte, si elle est connue, est trop complexe pour être calculée dans un délai raisonnable. Cependant, en présence d'un problème pour lequel il existe, pour ainsi dire, une multitude de solutions, au lieu d'essayer naïvement toutes les solutions individuellement afin de trouver la meilleure, nous allons explorer l'univers des solutions en nous laissant guider par les principes des algorithmes génétiques[38].

Opérations des AGs

La méthode des algorithmes génétiques repose sur un ensemble d'opérations. La chronologie de ces opérations est établie par la figure (3.5) :

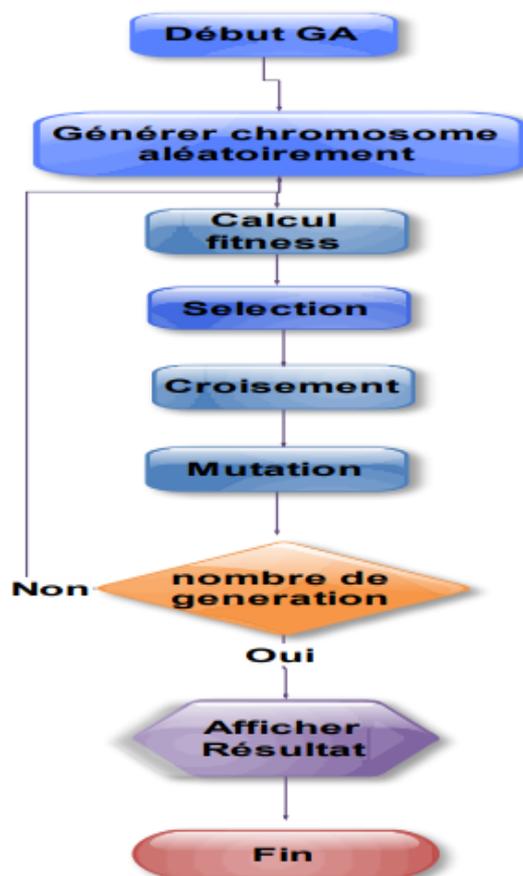


FIGURE 3.5 – Les opérations des algorithmes génétiques [48]

Le codage :

La schématisation d'une solution d'un problème implique de sélectionner le contenu des gènes adapté à la description du problème et à ses contraintes. Deux catégories de codage sont définies dans la littérature : binaire et réel figure (3.6) [55].

Individu	X_1	X_2	X_3	X_n
Individu	0001	1011	1001	1100

FIGURE 3.6 – Représentation d'un individu : codage réel , codage binaire[6].

Évaluation : fitness

Le rôle de l'opérateur d'évaluation n'est pas banal. L'opérateur de sélection l'utilise pour sélectionner les personnes à conserver. Donc, afin d'évaluer les résultats de chaque individu qui correspond à une solution spécifique du problème à résoudre, une fonction d'évaluation a été intégrée. La mesure de la capacité d'une personne à survivre est effectuée en lui attribuant un

ponds communément appelé fitness. On calcule la puissance de chaque chromosome de la population pour sélectionner les plus forts, puis les modifier (croisement et mutation). La fonction d'évaluation est principalement complexe en fonction du problème et de ses contraintes[25].

Les seuls éléments spécifiques au problème à résoudre sont les deux derniers éléments, à savoir le codage et l'évaluation. Après leur fixation, l'algorithme génétique que nous utiliserons sera toujours identique[38].

Population initiale :

Après le choix du codage, il est nécessaire de déterminer une population initiale composée de solutions admissibles pour résoudre le problème. La décision de la mise en place initiale sera basée sur les compétences de l'utilisateur concernant le problème. Si aucune information spécifique n'est disponible, une initialisation aléatoire, la plus homogène possible pour faciliter une exploration optimale de l'espace de recherche, sera la plus appropriée. Cependant, dans d'autres situations, d'autres mécanismes peuvent être utilisés. De plus, cette étape pose un problème essentiel, à savoir la sélection de la taille de la population. Effectivement, une population excessive entraîne une augmentation du temps de calcul et nécessite une quantité importante d'espace mémoire, tandis qu'une population trop faible entraîne l'obtention d'un optimum local[38].

Sélection :

Peut-être est-ce cet opérateur le plus crucial, car il permet aux personnes d'une population de survivre, de se reproduire ou de disparaître. L'efficacité relative d'un individu au sein de la population sera généralement liée à sa probabilité de survie. Le concept d'évolution de la théorie de Darwin est-il mis en pratique?[53]. Il existe différentes approches de sélection. Les principaux sont répertoriés ci-dessous :

- **Sélection par roulette :** La popularité de cette méthode réside dans sa simplicité et son efficacité pour les problèmes de taille moyenne[18].
- **Sélection par tournoi :** Cette méthode est bénéfique dans les cas où les personnes ont des scores de fitness très similaires[10].
- **Sélection par rang :** Cette approche est fréquemment employée dans les cas où les scores de fitness des individus présentent une grande variation[10].

Croisement :

Le croisement est une opération de reproduction qui permet l'échange d'informations entre les chromosomes (individus). Il fait appel à deux parents afin d'avoir un ou deux enfants. Les deux parents sont sélectionnés à l'issue de la sélection. L'innovation est favorisée par le croisement (les enfants sont distincts de leurs parents) et repose sur l'idée que deux parents performants généreront des enfants plus performants[23].

Il y a deux méthodes pour le croisement :

- **Simple croisement (une seul point) :**

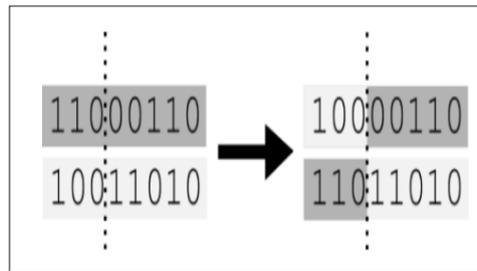


FIGURE 3.7 – croisement sur un seul point[30].

- **Double croisement (deux points) :**

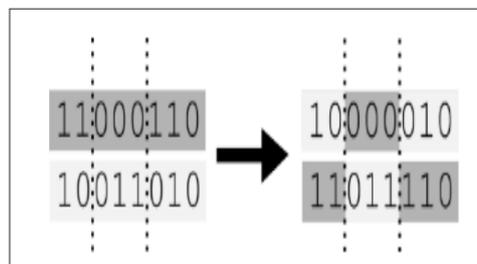


FIGURE 3.8 – croisement sur deux points[30].

Mutation :

Cet opérateur a pour fonction de modifier de manière aléatoire, avec une certaine probabilité, la valeur d'un élément de l'individu[53]. Effectivement, une mutation consiste à modifier un gène dans un chromosome en fonction d'un facteur de mutation, qui est la probabilité qu'une mutation soit effectuée sur une personne afin d'éviter une convergence prématurée de l'algorithme vers un extrémité locale[30].

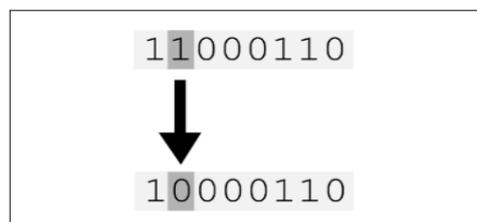


FIGURE 3.9 – représentation d'opérateur du mutation[30].

Adaptation de l'algorithme génétique à la problématique logistique

Dans notre code, nous avons représenté chaque individu de la population comme un vecteur dont la taille correspond au nombre de clients, où chaque élément est l'indice du CLR assigné à ce client ce que nous permet de coder facilement les solutions potentielles à notre problème d'optimisation.

Nous avons ensuite défini une fonction d'évaluation qui calcule le coût total d'une solution en additionnant les coûts de transport entre les CLRs et les clients, les coûts fixes d'ouverture des CLRs activés, ainsi que des pénalités élevées lorsqu'un CLR dépasse sa capacité. Cette fonction vérifie également si chaque client est satisfait en comparant sa demande à la charge restante du CLR qui lui est assigné. Notre fonction de fitness optimise à la fois les coûts globaux et le taux de satisfaction des clients.

Nous avons ensuite utilisé les opérateurs suivants :

Sélection : une sélection par tournoi où les meilleurs individus ont plus de chances d'être sélectionnés, tout en conservant une certaine diversité

Croisement : Il échange des segments de solution entre deux parents sélectionnés aléatoirement.

Mutation : elle modifie de manière aléatoire l'affectation d'un ou plusieurs clients à différents CLRs, avec une probabilité contrôlée par le taux de mutation

Ces opérateurs vous permettent d'explorer efficacement l'espace de recherche et de converger progressivement vers des solutions de meilleure qualité, en respectant les contraintes de capacité des CLRs et de satisfaction des demandes des clients.

⇒ Le pseudo-code suivant illustre les différentes étapes de l'algorithme génétique utilisé pour optimiser la localisation des centres de distribution et la planification des itinéraires d'acheminement. Il permet de comprendre le fonctionnement général de l'algorithme avant de plonger dans les détails techniques du code réel.

Algorithme 1 Algorithme génétique

Data: Population initiale de solutions potentielles

Result: Meilleure solution trouvée

Initialisation : Générer une population initiale aléatoire

while *les critères d'arrêt ne sont pas atteints* **do**

Évaluation : Calculer la fitness de chaque solution

Sélection : Sélectionner les solutions parents en fonction de leur fitness (par exemple, par sélection de tournoi ou par roulette)

Croisement : Appliquer l'opérateur de croisement aux paires de parents pour générer des enfants

Mutation : Appliquer l'opérateur de mutation à certaines solutions enfants

Mise à jour de la population : Remplacer les solutions les moins bonnes par les nouveaux enfants

end

Retourner la meilleure solution trouvée

3.6.3.2 Branch and Bound

Définition

L'algorithme de séparation et évaluation, plus connu sous son appellation anglaise Branch

and Bound (BB) (Land et Doig 1960), repose sur une méthode arborescente de recherche d'une solution optimale par séparations et évaluations, en représentant les états solutions par un arbre d'états, avec des nœuds, et des feuilles[42].

Le Branch-and-Bound est basé sur trois axes principaux :

1. L'évaluation,
2. La séparation,
3. La stratégie de parcours.

Principe

La méthode de séparation et évaluation (Branch and Bound) consiste à énumérer implicitement toutes les solutions dans l'espace de solutions S en examinant les sous-ensembles de S . Cette méthode divise l'ensemble des solutions réalisables S en sous-ensembles plus petits S_i (sous-problèmes) de manière à ce que $\bigcup_{i=1}^k S_i = S$ (phase de séparation). Ensuite, des critères sont utilisés pour identifier les sous-ensembles susceptibles de contenir la solution optimale et ceux qui ne le sont pas (phase d'évaluation) [8].

L'algorithme de base de la méthode Branch and Bound

On peut résumer la procédure de Branch and bound par les étapes suivantes [9] :

1. Construire l'ensemble R tel que : $S \subseteq R$,
2. Posons : $k = 1$, $I_k = R$, fixer $\epsilon > 0$,
3. Construire les problèmes des bornes inférieure et supérieure de $\min f(x)$ sur R . Soient LB_k, UB_k les solutions obtenues respectivement,
4. Si : $UB_k - LB_k \leq \epsilon$, donc on s'arrête et on pose : $\min f(x) = UB_k$ et $x^* = x^k \in \{x : f(x) = UB_k, x \in S \cap R\}$,
5. Sinon, subdiviser I_k en deux sous-ensembles (ou en un nombre fini de sous-ensembles) R_{k1} et R_{k2} tels que : $\bigcup_{i=1}^2 R_{ki} = R$ et $R_{k1}^0 \cap R_{k2}^0 = \emptyset$, où R^0 est l'intérieur de R .
6. Construire les problèmes des bornes inférieure et supérieure de $\min f(x)$ sur $S \cap R_{ki}$, $i = 1, 2$. Soient LB_{k1}, UB_{k1} et LB_{k2}, UB_{k2} les solutions obtenues,
7. Posons :
$$\begin{cases} UB_{k+1} = \min \{UB_{k1}, UB_{k2}\} = UB^*, \\ LB_{k+1} = \min \{LB_{k1}, LB_{k2}\} = LB^*, \end{cases}$$
8. Posons : $I_k = \{R_{k1}, R_{k2}\}$,
9. Éliminer de I_k tout sous-ensemble R_{kj} , $j = 1, 2$, tel que : $LB_{kj} > UB_{k+1}$, où $S \cap R_{kj} = \emptyset$,
10. Posons : $k = k + 1$ et revenons à 4 - 10.

Notation

- R_k : Le sous-ensemble actuel ;
- LB_k : La borne inférieure (à la $k^{\text{ième}}$ itération) ;
- UB_k : La borne supérieure (à la $k^{\text{ième}}$ itération) ;
- x^k : La solution trouvée (à la $k^{\text{ième}}$ itération).

Adaptation de Branch and Bound à la problématique logistique

Dans notre approche avec la méthode exacte de séparation et évaluation (Branch and Bound) en utilisant « intlinprog » de « MATLAB », nous calculons le coût total en tenant compte des coûts de transport, d'ouverture des CLR et des pénalités de capacité. Nous avons comparé cette méthode à l'algorithme génétique, qui explore les solutions potentielles en parallèle mais sans garantir toujours une solution optimale exacte.

Les étapes de la méthode Branch and Bound que nous avons suivies avec Matlab en utilisant la fonction intlinprog :

Formulation du problème : Représenter chaque solution potentielle comme un vecteur assignant chaque client à un CLR et définir la fonction d'évaluation calculant les coûts totaux.

Séparation (Branching) : Diviser l'ensemble des solutions réalisables en sous-ensembles plus petits

Évaluation (Bounding) : Utiliser intlinprog pour calculer les bornes inférieure et supérieure des valeurs des solutions optimales pour chaque sous-ensemble

Sélection des sous-problèmes : Identifier et explorer les sous-problèmes avec les bornes inférieures les plus prometteuses tout en éliminant les sous-ensembles non prometteurs.

Itération : Répéter les étapes de séparation et d'évaluation jusqu'à convergence suffisante des bornes inférieure et supérieure.

Conclusion

Ce chapitre a permis de formuler un modèle de programmation linéaire en nombres entiers pour optimiser la localisation des centres de distribution et l'acheminement des produits. Face à la complexité de ce problème combinatoire, nous avons choisi d'utiliser les algorithmes génétiques pour obtenir des solutions performantes. En plus de détailler les concepts clés de cette méta-heuristique, nous avons également brièvement abordé la méthode branch and bound.

Le prochain chapitre présentera les résultats obtenus grâce aux algorithmes génétiques appliqués aux données de l'entreprise Cevital et comparera les solutions des deux méthodes pour déterminer l'efficacité des algorithmes génétiques.

4

Résolution du problème

Introduction

Le problème en question s'agit d'un problème d'optimisation combinatoire avec variables mixtes, de taille moyenne, comportant 155 variables de décision et 335 contraintes.

L'algorithme génétique a été choisi pour sa résolution en raison de trois facteurs clés : la complexité du problème et son vaste espace de recherche, la simplicité relative de mise en œuvre comparée à d'autres méthodes avancées, et sa capacité d'exploration globale efficace. Cette approche permet de gérer efficacement les interactions complexes entre les variables tout en réduisant le risque de convergence vers des optima locaux, faisant de l'algorithme génétique une solution adaptée pour aborder ce problème d'optimisation logistique.

4.1 Présentation d'outil de résolution

Jupyter est une application web communautaire permettant de programmer en plus de 40 langages, dont Python . Elle permet de créer des notebooks combinant texte en Markdown et code exécutable, souvent utilisés en science des données pour l'exploration et l'analyse. Il est l'évolution du projet Python [19].



4.2 Tableau de Simulation et Paramétrage

Etapes	Nc	NG	TP	TM	NG	Justification de l'ajustement
1	2	10	20	0.05	50	Paramètres de départ petit problème pour tester l'algorithme de base.
2	2	10	30	0.05	50	Augmentation de la population pour diversifier les solutions et améliorer l'exploration de l'espace des solutions.
3	2	10	30	0.01	50	Réduction du taux de mutation pour une exploitation plus fine des solutions trouvées.
4	2	10	40	0.01	75	Augmentation du nombre de générations pour une meilleure convergence.
5	5	30	50	0.01	90	Problème plus grand, augmentation des paramètres pour un meilleur résultat.
6	5	30	50	0.01	100	Paramètres finaux pour un équilibre entre exploration et exploitation.

TABLE 4.1 – Paramétrage de l'Algorithme Génétique

Explication des notation de tableau :

NC : Nombre de centres ;

NG : Nombre de grossistes ;

TP : Taille de la population ;

TM : Taux de mutation ;

NG : Nombre de générations.

1. Le tableau (4.1) montre le paramétrage de l'Algorithme Génétique, partant de configurations simples pour tester ce dernier sur un petit problème, jusqu'à l'optimisation des paramètres finaux.
2. Les ajustements incluent l'augmentation de la taille de la population et des générations, ainsi que des modifications du taux de mutation, afin d'améliorer l'exploration, la diversité et la convergence de l'algorithme.
Les paramètres finaux équilibrent l'exploration et l'exploitation, autrement dit, trouver un juste équilibre entre tester de nouvelles solutions et améliorer les solutions existantes afin d'obtenir les meilleures performances possibles pour le problème.

4.3 Résultats et discussions

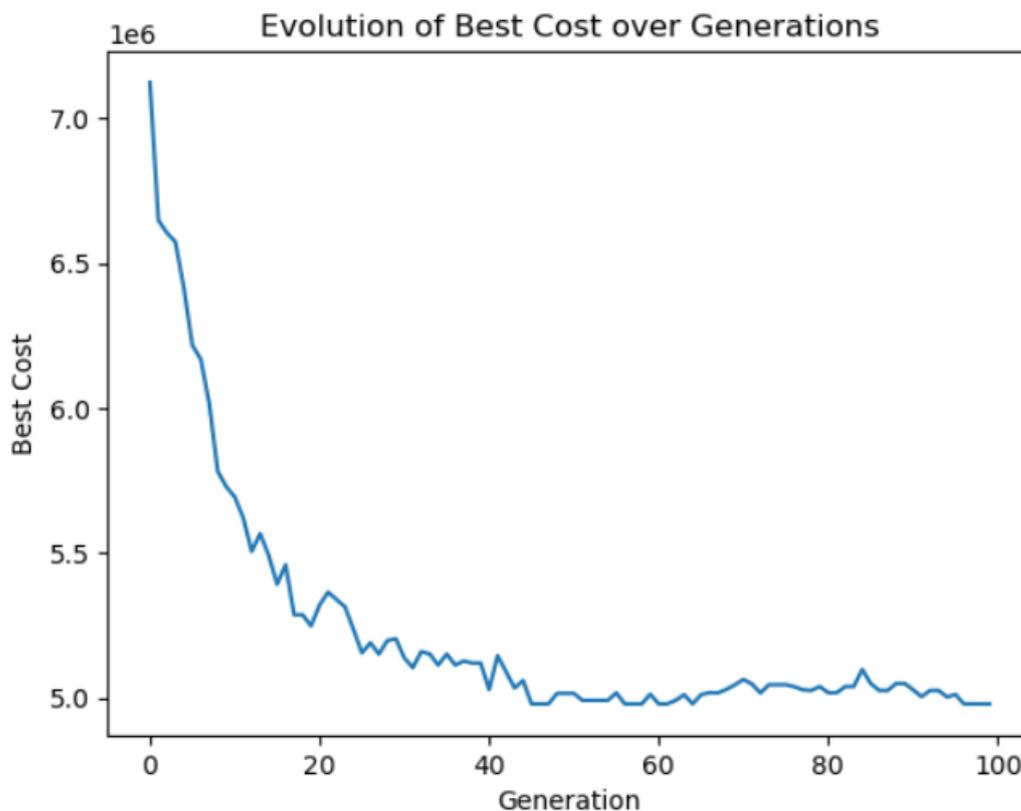


FIGURE 4.1 – Évolution du Meilleur Coût par Génération

Le graphe (4.1) montre l'évolution du meilleur coût trouvé par l'algorithme génétique au fil des générations.

1. L'axe vertical représente le meilleur coût total trouvé par l'algorithme à chaque génération. Un coût plus bas indique une solution plus optimale.
2. L'axe horizontal représente le nombre de générations. Chaque point sur cet axe correspond à une génération de l'algorithme génétique.

Comme on peut le voir sur la figure (4.1), l'algorithme génétique a réussi à réduire le coût logistique à 4979924DA après 100 générations.

```

Generation 95: Best Cost = 5003832
Generation 96: Best Cost = 5012396
Generation 97: Best Cost = 4979924
Generation 98: Best Cost = 4979924
Generation 99: Best Cost = 4979924
Generation 100: Best Cost = 4979924
Best solution: [0 4 1 0 2 1 4 3 4 3 3 4 3 0 2 3 1 4 4 4 0 4 0 3 1 4 0 3 0 1]
Best cost: 4979924

```

À chaque étape, nous avons mesuré la qualité des solutions en calculant leur fitness. En passant par les différentes phases d'initialisation, de sélection, de croisement, de mutation et de remplacement, l'algorithme a exploré de nombreuses solutions et amélioré progressivement les meilleures. La stabilisation du coût vers la fin montre que ce dernier a trouvé une solution stable et proche de l'optimum.

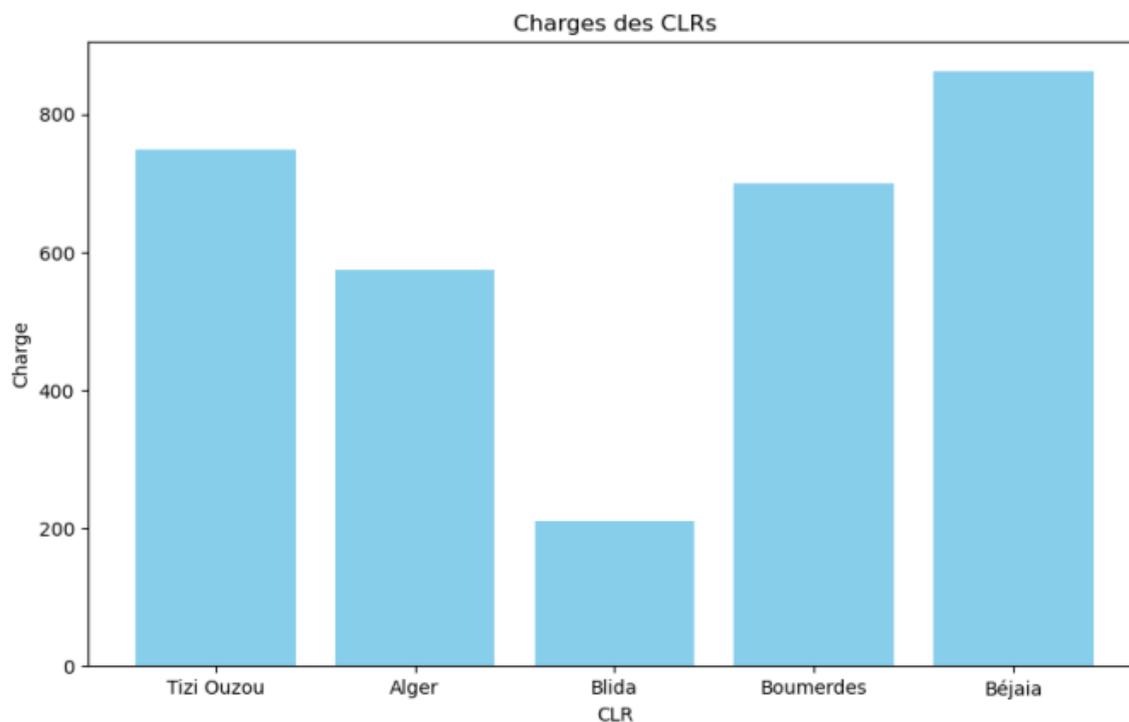


FIGURE 4.2 – Quantités Expédiées par Chaque CLR activé

La figure (4.2) représente les charges des différents centres de distribution régionaux (CLR's) après optimisation avec l'algorithme génétique.

1. L'axe vertical représente la charge totale supportée par chaque CLR autrement, indique la quantité totale de produits expédiés par chaque CLR.
2. L'axe horizontal liste les différents CLR's impliqués : Tizi Ouzou, Alger, Blida, Boumerdes et Béjaia ,

Ce qui signifie :

L'état actif des CLR's par des variables binaires .

CLR's: [1, 1, 1, 1, 1]

- **Tizi Ouzou :** Ce centre expédie environ 750 unités.
- **Alger :** Ce centre expédie environ 600 unités.

- **Blida** : Ce centre expédie environ 200 unités, ce qui est significativement moins par rapport aux autres centres.
- **Boumerdes** : Ce centre expédie environ 750 unités
- **Béjaia** : Ce centre expédie environ 850 unités, indiquant la charge la plus élevée parmi tous les centres.

⇒ Ces résultats indiquent que l’algorithme génétique a trouvé une solution haute qualité pour minimiser les coûts totaux tout en répondant à la demande des clients.

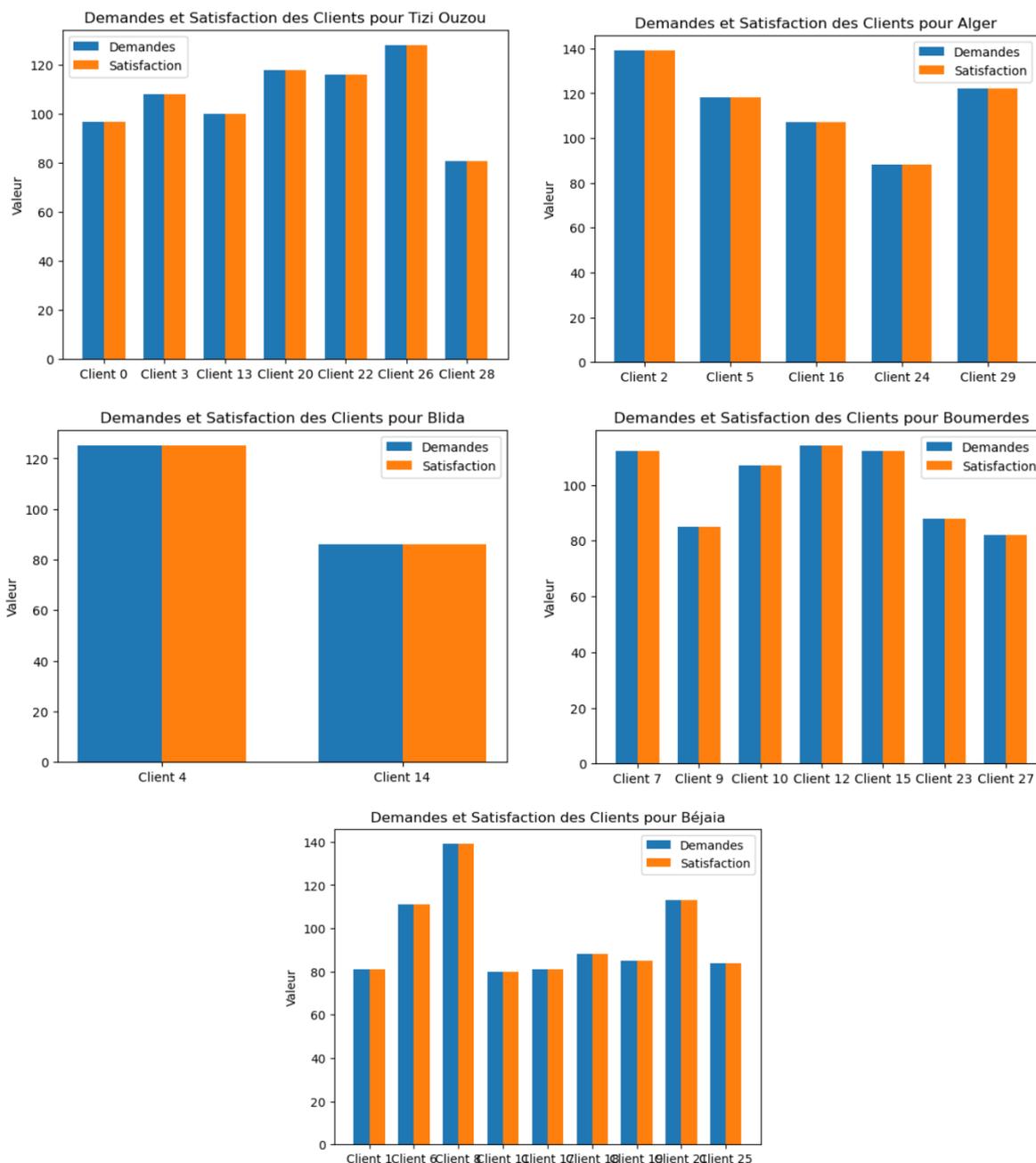


FIGURE 4.3 – Satisfaction des Demandes par CLR

La figure (4.3) montrent que les centres de distribution régionaux (CLRs) de Tizi Ouzou, Alger, Boumerdes, Blida et Béjaïa ont tous réussi à satisfaire entièrement les demandes de leurs clients.

Ce qui se traduit par des barres orange (satisfaction) égales aux barres bleues (demandes). Plus précisément, les clients desservis par :

```
CLR Tizi Ouzou serves clients: [0, 3, 13, 20, 22, 26, 28]
CLR Alger serves clients: [2, 5, 16, 24, 29]
CLR Blida serves clients: [4, 14]
CLR Boumerdes serves clients: [7, 9, 10, 12, 15, 23, 27]
CLR Béjaïa serves clients: [1, 6, 8, 11, 17, 18, 19, 21, 25]
```

Ont tous vu leurs demandes entièrement satisfaites.

⇒ Cela démontre que l'algorithme génétique a non seulement optimisé les coûts logistiques, mais a également réussi à répondre parfaitement aux besoins des clients pour chaque CLR actif.

On conclut :

L'algorithme génétique résout de façon efficace le problème en question en réduisant au minimum les coûts logistiques, y inclus les coûts de transport et d'exploitation des centres de distribution régionaux (CLRs) de l'entreprise.

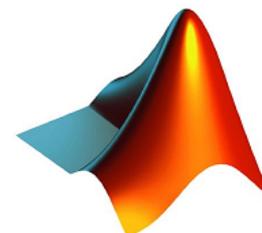
Une telle optimisation est obtenue tout en satisfaisant pleinement les demandes des clients, ce qui garantit la satisfaction de ces derniers. En identifiant les CLRs les plus efficaces et en optimisant leur utilisation, cette technique de résolution contribue à renforcer l'efficacité des opérations logistiques de Cevital.

Remarque :

L'algorithme génétique fonctionne de manière aléatoire, ce qui signifie que les résultats obtenus peuvent varier à chaque exécution. À chaque exécution, certains centres de distribution régionaux (CLRs) peuvent être désactivés (prendre la valeur binaire 0).

Pour assurer une comparaison cohérente en termes de coût, nous avons choisi une exécution spécifique où les cinq CLRs étaient actifs. Cela met en évidence l'efficacité de l'algorithme dans une configuration complète.

Pour mettre en évidence les résultats obtenus avec l'algorithme génétique, nous avons résolu le problème en question à l'aide MATLAB en employant la fonction prédéfinie « "intlinprog" ». Il est à souligner que cette fonction représente une mise en œuvre de la méthode Branch and Bound, une technique largement utilisée pour résoudre des problèmes de programmation linéaire en nombres entiers mixtes.



Cette comparaison permet d'évaluer les solutions optimales obtenues par la méthode exacte (Branch and Bound) par rapport aux solutions approchées fournies par la méthode génétique.

```

Valeurs optimales de  $y_i$ :
y1 = 1.000000e+00
y2 = 1
y3 = 1.000000e+00
y4 = 1
y5 = 1.000000e+00
Coût total minimisé: 4823943.00

```

La méthode Branch and Bound active toutes les variables y_i (y_1 à y_5) pour minimiser le coût total à 4 823 943 tandis que la méthode génétique atteint environ 5 000 000 avec tous les centres actifs.

```

Site 1:
Ouvert: 1.000000e+00
  Client 1: 97.00 unités transportées
  Client 10: 85.00 unités transportées
  Client 12: 80.00 unités transportées
  Client 23: 116.00 unités transportées
Site 2:
Ouvert: 1
  Client 9: 139.00 unités transportées
  Client 15: 86.00 unités transportées
  Client 24: 88.00 unités transportées
  Client 25: 88.00 unités transportées

Site 3:
Ouvert: 1.000000e+00
  Client 3: 139.00 unités transportées
  Client 4: 108.00 unités transportées
  Client 6: 118.00 unités transportées
  Client 7: 111.00 unités transportées
  Client 8: 112.00 unités transportées
  Client 13: 114.00 unités transportées
  Client 22: 113.00 unités transportées
  Client 28: 82.00 unités transportées
  Client 30: 122.00 unités transportées
Site 4:
Ouvert: 1
  Client 5: 125.00 unités transportées
  Client 16: 112.00 unités transportées
  Client 20: 85.00 unités transportées
  Client 21: 118.00 unités transportées
  Client 26: 84.00 unités transportées
  Client 29: 81.00 unités transportées

Site 5:
Ouvert: 1.000000e+00
  Client 2: 81.00 unités transportées
  Client 11: 107.00 unités transportées
  Client 14: 100.00 unités transportées
  Client 17: 107.00 unités transportées
  Client 18: 81.00 unités transportées
  Client 19: 88.00 unités transportées
  Client 27: 128.00 unités transportées

```

FIGURE 4.4 – Satisfaction des Demandes par CLR (B & B)

1. Chaque site (CLR) est ouvert et dessert plusieurs clients avec des quantités variables d'unités transportées.
2. Cette répartition montre que tous les centres de distribution sont utilisés pour satisfaire les demandes des clients de manière optimale, contribuant ainsi à la minimisation des coûts logistiques et à la satisfaction des clients .

Bien que la méthode Branch and Bound offre une solution légèrement plus optimale en termes de coût, son efficacité (temps d'exécution) est rationnellement influencée par la taille du problème, contrairement aux algorithmes génétiques qui trouvent des solutions avec un temps raisonnable même pour les problèmes complexes. Malgré que notre problème soit de petite taille, l'algorithme génétique, bien qu'un peu plus coûteux ici, a trouvé une solution proche de celle obtenue par Branch and Bound, qui est optimale.

Ainsi, AG est une méthode efficace pour résoudre ce type de problèmes d'optimisation, grâce à sa flexibilité, son adaptation aux contraintes et sa rapidité, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle dans des environnements logistiques dynamiques et complexes. Contrairement aux méthodes exactes qui peinent face à la complexité croissante. L'algorithme a réussi à minimiser les coûts tout en satisfaisant pleinement les demandes des clients.

Cette approche ouvre de nouvelles perspectives prometteuses pour optimiser les ressources logistiques de l'entreprise et renforcer sa compétitivité sur le marché. L'utilisation des algorithmes génétiques pourrait ainsi être étendue à d'autres problématiques logistiques très complexes au sein de Cevital.

Conclusion

L'implémentation de l'algorithme génétique va permettre à Cevital d'optimiser ses coûts logistiques tout en répondant pleinement aux demandes des clients. En adoptant cette solution, Cevital pourrait envisager un nouveau modèle où elle prend en charge la livraison directe des palettes d'huile à partir des CLR. Cette méthode non seulement réduit les coûts, mais améliore également l'efficacité des opérations logistiques et renforce la compétitivité de l'entreprise sur le marché en offrant un service de livraison directe.

Conclusion générale et travaux futures

L'application des métaheuristiques à la planification logistique dans un contexte de chaîne d'approvisionnement offre des solutions innovantes et efficaces pour résoudre des problèmes complexes tels que la localisation et l'acheminement. L'algorithme génétique, en particulier, s'est révélé être un outil puissant pour optimiser ces processus logistiques. En simulant les principes de la sélection naturelle, cet algorithme permet d'explorer de vastes espaces de solutions et d'identifier les configurations les plus efficaces en termes de coûts, de temps et de ressources.

Dans le cadre de notre étude, nous avons appliqué l'algorithme génétique pour résoudre le problème de localisation et d'acheminement, des aspects cruciaux pour garantir l'efficacité et la réactivité des chaînes d'approvisionnement modernes. Les résultats obtenus montrent une amélioration significative des performances logistiques, tant au niveau de la réduction des coûts de transport que de l'optimisation des emplacements des centres de distribution. Ces améliorations contribuent non seulement à la compétitivité des entreprises mais aussi à la satisfaction des clients grâce à une meilleure gestion des flux de marchandises.

En conclusion, l'intégration des métaheuristiques, et en particulier de l'algorithme génétique, dans la planification logistique représente une avancée majeure pour les chaînes d'approvisionnement. Elle permet de relever les défis croissants de la complexité logistique en offrant des solutions robustes et adaptatives. Les perspectives d'amélioration et d'application future de ces méthodes sont vastes, ouvrant la voie à une logistique plus efficace et plus agile face aux exigences du marché globalisé.

Bibliographie

- [1] A.BICHAKASMI. Contribution à l'amélioration de la chaîne logistique aval à l'aide de l'analyse multicritère à la décision. *La Revue des Sciences Commerciales* (2017).
- [2] A.CHIBANI. *Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne*. PhD thesis, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 2015.
- [3] A.ELBAKKOURI. De la logistique au supply chain logistique : une revue de la littérature. *Revue Marocaine des Sciences de Gestion* 22 (2021).
- [4] A.GRATACAP, AND M.PIERRE. *logistique et supply chain management : intégration, collaboration et risque dans la chaîne logistique globale*. Dunod, 2006.
- [5] A.HAMMAMI. *Modélisation techno-économique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau*. PhD thesis, université Laval, Québec ,Canada, 2003.
- [6] A.LAGGOUN. *Développement d'une approche pour la résolution d'un problème de lot sizing avec transport*. PhD thesis, Université de Batna 2, 2014.
- [7] A.SENOUSI. *Optimisation intégrée des fonctions production, stockage et distribution dans une chaîne logistique*. PhD thesis, Laboratoire d'automatique et productique univ Batna 2, 2015-2016.
- [8] B.BORCHERS, AND J-E.MITCHELL. A computational comparison of branch and bound and outer approximation algorithms for 0–1 mixed integer nonlinear programs. *Computers & Operations Research* (1997).
- [9] B.JAUMARD, R., AND E.GOURDIN. Global optimization of holder function. *Journal of Global Optimization* (1996).
- [10] D.DEMANE, AND H.KHEZZARI. Algorithme génétique pour l'équilibrage de chaîne de montage, 2023.
- [11] E.BIERNAT, AND M.LUTZ. *Data science : fondamentaux études de cas : Machine learning avec Python et R*. Editions Eyrolles, 2015.
- [12] ED.TAILLARD. *La programmation à mémoire adaptative et les algorithmes pseudo-gloutons : nouvelles perspectives pour les métaheuristiques*. PhD thesis, Universités de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Versailles, France, 1998.
- [13] ED.TAILLARD. Principes d'implémentation des métaheuristiques. *Optimisation approchée en recherche opérationnelle* (2002), 57–79.
- [14] F.ABDELKRIM. L'impact du système d'information sur la gestion de la chaîne logistique en amontétude de cas : Échantillon de quelques entreprises algériennes. *ElWahat pour les recherches et les etudes* 14 (2021), 1368–1387.
- [15] F.GLOVER. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers and Operations Research* 13, 5 (1986), 533–549.

- [16] F.GUESSOUM. *Planning de rotation des infirmières*. PhD thesis, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [17] F.MEHIDI. *Algorithme Génétique*. PhD thesis, université Abdelhamid ibn badis-mostaganem, 2013.
- [18] GOLDBERG, D. E. Simple genetic algorithms and the minimal,deceptive problem. *Genetic algorithms and simulated annealing* (1987), 74–88.
- [19] G.SWINNEN. *Apprendre à programmer avec Python*. O'Reilly, 2005.
- [20] H.BOUKELMOUNE. *Métaheuristique à base de populations appliquée à la génération d'un emploi du temps d'un département à l'université*. PhD thesis, université de jijel, 2021.
- [21] H.HACHIMI. *Hybridations d'algorithmes métaheuristiques en optimisation globale et leurs applications*. PhD thesis, Université Mohammed V-Agdal,Rabat, 2013.
- [22] H.STADTLER, C.KILGE, AND H.MEYR. *Supply Chain Management and Advanced Planning, 5th Edition*. Springer, 2015.
- [23] I.CHOUCHANI. Utilisation d'un algorithme génétique pour la composition de services web.
- [24] J-M.SEGURA. *Localisation et affectation : application aux réseaux de contenus*. PhD thesis, Paris 6, 2011.
- [25] J.HAO, PH.GALINIER, AND M.HABIB. Méthaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes. *Revue d'intelligence artificielle* 13, 2 (1999), 283–324.
- [26] J.MAHMOUDI. *Simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaînes logistiques : application au secteur de l'électronique et des télécommunications*. PhD thesis, L'ecole nationale superieure de l'aeronautique et de l'espace, 2006.
- [27] J.T.MENTZER, W.DEWIT, J.S.KEEBLER, S.MIN, N.NIX, AND C.SMITH. Définir la gestion de la chaîne d'approvisionnement. *Business logistics* 22 (2001).
- [28] KIRKPATRICK, S., GELATT, C., AND VECCHI, M. Optimization by simulated annealing. *science* 220 (1983), 671–680.
- [29] L.ASLI. *Approche hybride pour les problèmes d'optimisation combinatoire multiobjectif : cas des problèmes de type sac-à-dos*. PhD thesis, Alger, 2010.
- [30] L.DAHMANE, AND S.HADROR. Algorithme génétique parallèle pour un problème d'ordonancement d'atelier job shop, 2020.
- [31] L.JOURDAN. *Métaheuristiques Coopératives du déterministe au stochastique*. PhD thesis, Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2010.
- [32] M.CHRISTOPHER. *Logistics sypply chain management*. Pearson Uk, 2022.
- [33] M.DORIGO, AND G.DI.CARO. Ant colony optimization : A new meta-heuristic. In *Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)* (1999), vol. 2, IEEE, pp. 1470–1477.
- [34] M.DORIGO, V.MANIEZZO, AND A.COLORNI. Ant system : optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part b (cybernetics)* 26, 1 (1996), 29–41.
- [35] M.JULIEN. *Planification des chaînes logistiques : modélisation du système décisionnel et Performance*. PhD thesis, université Bordeaux 1, 2007.
- [36] M.NICHOLAS, ARIANNA, W., MARSHALL, N. R., AND TELLER, H. Equation of state calculations by fast computing machines. *The journal of chemical physics* 21, 6 (1953), 1087–1092.

- [37] N.MRABTI. *Contribution à l'optimisation de la distribution collaborative avec partage de gains sous critères de durabilité*. PhD thesis, l'École Doctorale en Sciences Technologies et Santé (ED 585) de l'Université de Picardie Jules Verne, 2021.
- [38] N.ZERARI. *Les algorithmes génétiques en maintenance*. PhD thesis, Université de Batna 2, 2006.
- [39] O.AZOUZ, AND S.DJEDRA. *La logistique et la compétitivité de l'entreprise cas cevital*, 2019.
- [40] R.ELMOSTAFID. *la logistique et la chaîne logistique. Maroco économie et gestion, Graduate student ..*
- [41] R.GUERROUDJ, AND S.MAZOUZI. *Le transport routier de marchandises dans la chaîne logistique Cas de l'entreprise Bejaia Logistique*. PhD thesis, Université Abderrahmane Mira Béjaïa, 2018-2019.
- [42] S.BOYD, AND J.MATTINGLEY. *Branch and bound methods. Notes for EE364b, Stanford University (2007)*.
- [43] S.D.MERZOUK. *Problème de dimensionnement de lot et de livraison : application au cas d'une Chaîne logistique*. PhD thesis, université de Technologie de Belfort, 2007.
- [44] S.ELHIDAOU, KH.BENHIDA, S.ELFEZAZI, N.HAMANI, AND Y.AZOUAGH. *Modélisation de la chaîne d'approvisionnement verte : Revue de la littérature. Revue internationale des sciences : recherche fondamentale et appliquée (IJSBAR) (2020), 43–61*.
- [45] S.KEBBI, AND S.MESSAOUD. *Modélisation et résolution du problème de transport (marchandise)*. Master's thesis, Université Abderrahmane Mira Béjaïa, 2019-2020.
- [46] S.KIRKPATRICK, C.GELATT, AND M.P.VECCHI. *Optimization by simulated annealing. science 220, 4598 (1983), 671–680*.
- [47] S.LAMRI. *Application des métaheuristique pour l'optimisation de routage dans les réseau mobiles Ad Hoc*. PhD thesis, Université de béjaia, 2016.
- [48] S.MAHD. *Optimisation multi-objectif par un nouveau schéma de coopération Méta/Exacte*. PhD thesis, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [49] S.MEBARKI, AND L.TAHIR. *Optimisation du réseau logistique de distribution : cas des huiles au niveau de cevital*, 2014-2015.
- [50] S.TISS. *Évaluation des risques et de la robustesse de la planification tactique des acteurs d'une chaîne logistique basée sur une plateforme cloud*. PhD thesis, Université de toulouse, 2022.
- [51] T.AZOUZ, AND S.EBARKI. *L'impact d'une chaîne logistique sur la performance de l'entreprise : Cas distribution de cevital*, 2018-2019.
- [52] TH.DRIES, AND M.MECHERI. *Optimisation du problème lot sizing avec transport : cas des huiles elio au niveau de cevital*, 2022 2023.
- [53] TH.VALLÉE, AND M.YILDIZOGLU. *Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie. Revue d'économie politique (2004), 711–745*.
- [54] V.CERNY. *Thermodynamical approach to the traveling salesman problem :an efficient simulation algorithm. Journal of optimization theory and applications 45 (1985), 41–51*.
- [55] W.MAMMERI. *Problème de planification intégrée de la production et de la distribution avec véhicules pleins (Full truckload)*. PhD thesis, Université de Batna 2, 2016.
- [56] Y.AISSANI, AND OT.KACEL. *Étude et optimisation des flux de matière au sein de nca-rouiba*, 2015-2016.

-
- [57] Y.PIMOR, AND M.FENDER. *Logistique :production, distribution, soutien, série gestion industrielle 5eme édition*. Dunod, 2008.
- [58] Y.SAFER, AND L.TAIBAOU. *Etude de la mutualisation logistique dans un réseau de production, de distribution et de stockage de la pomme de terre en Algérie*. PhD thesis, M : Mohammed bennekrouf, 2020.
- [59] Z.PENG. *Optimisation par essais particuliers pour la logistique urbaine*. PhD thesis, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2019.

Annexes

TABLE 2 – Les coûts de transport CLR 1 / grosistes en DA/semaine/ palette

CLRs/Grosiste	Coût de transport	CLRs/Grosiste	Coût de transport
15-Tizi Ouzou/G1	1173 DA /plts	15- Tizi Ouzou/G16	1967 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G2	3720 DA/plts	15- Tizi Ouzou/G17	2061 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G3	3574 Da /plts	15- Tizi Ouzou/G18	2322 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G4	1822 Da /plts	15- Tizi Ouzou/G19	1994 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G5	3863 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G20	2390 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G6	2700 DA /plts	15- Tizi Ouzou/G21	1504 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G7	3536 DA/plts	15- Tizi Ouzou/G22	1724 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G8	2728 Da /plts	15- Tizi Ouzou/G23	1225 Da/plts
15-Tizi Ouzou/G9	3374 Da /plts	15- Tizi Ouzou/G24	1591 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G10	1839 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G25	3883 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G11	3277 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G26	2762 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G12	2756 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G27	1375 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G13	2700 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G28	3460 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G14	1126 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G29	2807 Da/plts
15- Tizi Ouzou/G15	2896 Da/plts	15- Tizi Ouzou/G30	1778 Da/plts

TABLE 3 – Les coûts de transport CLR 2 / grosistes en DA/semaine/ palette

CLRs/Grosiste	Coût de transport	CLRs/Grosiste	Coût de transport
16-Alger/G1	2243 DA/plts	16-Alger/G16	2589 DA/plts
16-Alger/G2	2749 DA/plts	16-Alger/G17	1086 DA/plts
16-Alger/G3	1760 DA/plts	16-Alger/G18	3454 DA/plts
16-Alger/G4	3547 DA/plts	16-Alger/G19	3467 DA/plts
16-Alger/G5	1808 DA/plts	16-Alger/G20	2611 DA/plts
16-Alger/G6	2028 DA/plts	16-Alger/G21	2911 DA/plts
16-Alger/G7	3010 DA/plts	16-Alger/G22	2665 DA/plts
16-Alger/G8	3327 DA/plts	16-Alger/G23	1795 DA/plts
16-Alger/G9	2978 DA/plts	16-Alger/G24	1669 DA/plts
16-Alger/G10	3216 DA/plts	16-Alger/G25	1882 DA/plts
16-Alger/G11	3251 DA/plts	16-Alger/G26	2606 DA/plts
16-Alger/G12	2904 DA/plts	16-Alger/G27	2228 DA/plts
16-Alger/G13	2455 DA/plts	16-Alger/G28	1664 DA/plts
16-Alger/G14	1634 DA/plts	16-Alger/G29	3052 DA/plts
16-Alger/G15	3153 DA/plts	16-Alger/G30	1218 DA/plts

TABLE 4 – Les coûts de transport CLR 3 / grosistes en DA/semaine/ palette

CLRs/Grosiste	Coût de transport	CLRs/Grosiste	Coût de transport
09-Blida/G1	3936 DA/plts	09-Blida/G16	2409 DA/plts
09-Blida/G2	3957 DA/plts	09-Blida/G17	3449 DA/plts
09-Blida/G3	2110 DA /plts	09-Blida/G18	1911 DA/plts
09-Blida/G4	2857 DA/plts	09-Blida/G19	2387 DA/plts
09-Blida/G5	1386 DA/plts	09-Blida/G20	2974 DA/plts
09-Blida/G6	3788 DA/plts	09-Blida/G21	2840 DA/plts
09-Blida/G7	3758 DA/plts	09-Blida/G22	3662 DA/plts
9-Blida/G8	3986 DA/plts	09-Blida/G23	2035 DA/plts
09-Blida/G9	1409 DA/plts	09-Blida/G24	2752 DA/plts
09-Blida/G10	3067 DA/plts	09-Blida/G25	3226 DA/plts
09-Blida/G11	1797 DA/plts	09-Blida/G26	3859 DA/plts
09-Blida/G12	1997 DA/plts	09-Blida/G27	2178 DA/plts
09-Blida/G13	1518 DA/plts	09-Blida/G28	2087 DA/plts
09-Blida/G14	1249 DA/plts	09-Blida/G29	3700 DA/plts
09-Blida/G15	1240 DA/plts	09-Blida/G30	2732 DA/plts

TABLE 5 – Les coûts de transport CLR 4 / grosistes en DA/semaine/ palette

CLRs/Grosiste	Coût de transport	CLRs/Grosiste	Coût de transport
35-Boumerdas/G1	3311 DA/plts	5-Boumerdas/G16	1588 DA/plts
35-Boumerdas/G2	3079 DA/plts	5-Boumerdas/G17	2432 DA/plts
35-Boumerdas/G3	3571 DA/plts	5-Boumerdas/G18	2213 DA/plts
35-Boumerdas/G4	3968 DA/plts	5-Boumerdas/G19	3417 DA/plts
35-Boumerdas/G5	2208 DA/plts	5-Boumerdas/G20	2322 DA/plts
35-Boumerdas/G6	2995 DA/plts	5-Boumerdas/G21	3125 DA/plts
35-Boumerdas/G7	3452 DA/plts	5-Boumerdas/G22	3522 DA/plts
35-Boumerdas/G8	1510 DA/plts	5-Boumerdas/G23	3518 DA/plts
35-Boumerdas/G9	2108 DA/plts	5-Boumerdas/G24	1227 DA/plts
35-Boumerdas/G10	1135 DA/plts	5-Boumerdas/G25	2868 DA/plts
5-Boumerdas/G11	1395 DA/plts	5-Boumerdas/G26	3385 DA/plts
5-Boumerdas/G12	1568 DA/plts	5-Boumerdas/G27	1857 DA/plts
5-Boumerdas/G13	1399 DA/plts	5-Boumerdas/G28	1098 DA/plts
5-Boumerdas/G14	3417 DA/plts	5-Boumerdas/G29	3115 DA/plts
5-Boumerdas/G15	3855 DA/plts	5-Boumerdas/G30	2523 DA/plts

TABLE 6 – Les coûts de transport CLR 5 / grosistes en DA/semaine/ palette

CLRs/Grosiste	Coût de transport	CLRs/Grosiste	Coût de transport
06-Béjaia/G1	2873 DA/plts	06-Béjaia/G16	3484 DA/plts
06-Béjaia/G2	1362 DA/plts	06-Béjaia/G17	3910 DA/plts
06-Béjaia/G3	3240 DA/plts	06-Béjaia/G18	1135 DA/plts
06-Béjaia/G4	3099 DA/plts	06-Béjaia/G19	1625 DA/plts
06-Béjaia/G5	2938 DA/plts	06-Béjaia/G20	1506 DA/plts
06-Béjaia/G6	3089 DA/plts	06-Béjaia/G21	2165 DA/plts
06-Béjaia/G7	2186 DA/plts	06-Béjaia/G22	1118 DA/plts
06-Béjaia/G8	1824 DA/plts	06-Béjaia/G23	2284 DA/plts
06-Béjaia/G9	1237 DA/plts	06-Béjaia/G24	3977 DA/plts
06-Béjaia/G10	2314 DA/plts	06-Béjaia/G25	2479 DA/plts
06-Béjaia/G11	1541 DA/plts	06-Béjaia/G26	2207 DA/plts
06-Béjaia/G12	1260 DA/plts	06-Béjaia/G27	2198 DA/plts
06-Béjaia/G13	3419 DA/plts	06-Béjaia/G28	2669 DA/plts
06-Béjaia/G14	1622 DA/plts	06-Béjaia/G29	3277 DA/plts
06-Béjaia/G15	3793 DA/plts	06-Béjaia/G30	2248 DA/plts

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons étudié la chaîne logistique de distribution d'huile au niveau de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL. Auparavant, ce sont les clients eux-mêmes qui se chargeaient de récupérer leurs commandes auprès des différents Centres de Livraison Régionaux (CLRs). Cependant, nous nous sommes intéressés spécifiquement au nouveau modèle où CEVITAL assure désormais une livraison directe des palettes d'huile aux clients à partir des CLRs. Pour cela, nous avons modélisé ce problème comme étant un programme mixte en nombres entiers, qui permet de minimiser les coûts de l'entreprise et satisfaire la demande de sa clientèle. Le travail est relatif à un problème de localisation avec contraintes de capacité, combiné avec le problème de transport des palettes d'huile. L'objectif consiste à optimiser le coût total de la chaîne, constituée des coûts fixes d'ouverture des CLRs, et les coûts de transport. Nous avons utilisé l'algorithmes génétiques, implémentés en Python, pour résoudre ce problème, puis nous avons comparé cette approche à la méthode exacte de Branch and Bound afin d'en déterminer l'efficacité de notre approche .

Mots clés : chaîne logistique, CEVITAL, Métaheuristiques, Algorithmes génétiques, Optimisation, problème de localisation avec capacité, Python, Branch and Bound

Abstract

In this thesis, we studied the oil distribution supply chain at the CEVITAL food company. Previously, it was the customers themselves who collected their orders from the various Regional Delivery Centers (RDCs). However, we were specifically interested in the new model, where CEVITAL now ensures direct delivery of oil pallets to customers from the customers from the CLRs. To this end, we have modeled this problem as a mixed integer program, which minimizes the company's costs and satisfies and satisfy customer demand. The work relates to a localization problem with capacity constraints, combined with the problem of transporting oil pallets. We used genetic algorithms, implemented in Python, to solve this problem, then compared this approach with the exact Branch and Bound method to determine the effectiveness of our approach.

Key words : supply chain, CEVITAL, Metaheuristics, Genetic algorithms, Optimization, localization problem with capacity, Python, Branch and Bound