

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



# Mémoire de fin de cycle

Pour l'obtention de diplôme de master  
Filière : Mathématiques Appliquées  
Spécialité : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

## Thème

---

# Minimisation du temps de manutention dans la plate-forme logistique NUMILOG Bouira

---

Réalisé par : SIDHOUM Redha

Soutenu devant le jury d'examen composé de :

Mr B.BRAHMI	MCA	à l'université de Béjaïa	Président
Mr L.ASLI	MCA	à l'université de Béjaïa	Encadreur
Mr S.TOUATI	MCB	à l'université de Béjaïa	Examinateur
Mr A.LAOUAR	MAA	à l'université de Béjaïa	Examinateur

Année universitaire : 2021/2022

# *REMERCIEMENTS*

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon promoteur Mr L.ASLI, pour son soutien et sa disponibilité durant toute la période du travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail et d'y apporter leur caution :

- Mr B.BRAHMI qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.
- Mr S.TOUATI et Mr A.LAOUAR pour m'avoir honoré de leur participation au jury.

Je n'oublie pas ma chère famille pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

---

# *DÉDICACES*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma famille, mais aucune dédicace ne serait témoin de mon profond amour, mon immense gratitude et mon plus grand respect pour eux pour leurs soutien durant tous mon cycle d'étude.*

*J'offre aussi ce travail*

*A tous mes amie, et à tous ceux que j'aime et qui ont contribué de loin ou de près afin de réaliser ce travail.*

*A mon encadreur pour sa patience avec moi,  
ainsi qu'à tous le corps administratif, et à vous chers lecteurs.*

# Table des matières

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Présentation de l'entreprise Numilog</b>	<b>4</b>
Introduction . . . . .	4
1.1 Le groupe Cevital . . . . .	4
1.1.1 Evolution des activités stratégiques avant et après la création du groupe Cevital . . . . .	5
1.1.2 L'importance stratégique de l'organisation logistique . . . . .	5
1.1.3 Le système organisationnel de transport de Cevital . . . . .	6
1.2 Numilog SPA . . . . .	7
1.2.1 Les activités de Numilog . . . . .	7
1.2.1.1 L'activité de logistique . . . . .	8
1.2.1.2 L'activité de transport . . . . .	8
1.2.2 Stratégie de Numilog . . . . .	8
1.2.2.1 Locale . . . . .	8
1.2.2.2 À l'international . . . . .	8
1.2.3 Le réseau de distribution . . . . .	9
1.2.4 Le système de transport Numilog vers ses clients . . . . .	9
1.2.4.1 Plateforme logistique (PFL) de l'entreprise NUMILOG . . . . .	9
1.2.4.2 Centre Logistique Régional (CLR) . . . . .	10
1.2.5 L'organigramme de SPA Numilog . . . . .	10
1.2.6 La flotte matérielle de Numilog . . . . .	11
1.2.7 Clients Numilog . . . . .	12
1.2.8 Processus de préparation des commandes . . . . .	12
1.2.9 Description du processus de distribution . . . . .	13
1.2.10 Moyens Techniques . . . . .	14
1.2.10.1 TMS – Transport Management System . . . . .	14
1.2.10.2 Les Entreprises Ressource Planning (ERP) . . . . .	15
1.2.10.3 Géolocalisation . . . . .	15
1.2.10.4 Le système EDI . . . . .	15

## TABLE DES MATIÈRES

---

1.2.10.5	Le courrier électronique (la messagerie)	15
	Conclusion	16
<b>2</b>	<b>La plateforme logistique de Bouira</b>	<b>17</b>
	Introduction	17
2.1	Présentation générale de l'établissement	17
2.2	Organigramme de Numilog Bouira	18
2.3	Les activités principales	20
2.3.1	La logistique	20
2.3.2	Le transport	20
2.4	Infrastructures de stockage, Matériaux de manutention et Camions	21
2.4.1	Infrastructures de stockage	21
2.4.2	Matériaux de manutention	22
2.4.3	Camions	23
2.4.4	Caractéristiques des produits gérés	23
2.5	Processus de gestion des stocks	24
2.6	Processus Préparations et Expéditions des commandes	24
2.7	Processus de Réception des camions	26
2.8	Optimisation de la supply chain	27
2.8.1	L'occupation des quais au cœur des opérations	27
2.8.2	La frustration des retards aux quais de chargement et déchargement	28
2.8.3	Les enjeux d'une bonne gestion de quais	28
2.9	Position du problème	29
	Conclusion	30
<b>3</b>	<b>Notions de base sur l'optimisation combinatoire</b>	<b>31</b>
	Introduction	31
3.1	Optimisation combinatoire	31
3.1.1	Démarche en Optimisation Combinatoire	32
3.1.1.1	Identification	32
3.1.1.2	Modélisation	32
3.1.1.3	Résolution	33
3.1.1.4	Implémentation	33
3.2	la complexité algorithmique	33
3.2.1	La classe NP	33
3.2.2	La classe NP-complet	33
3.2.3	La classe NP-difficile	34
3.3	Problème d'optimisation	34
3.3.1	Problème d'optimisation continue	34
3.3.2	Problème d'optimisation combinatoire	35
3.3.3	Optimum global	35
3.4	Méthode de résolution	36
3.4.1	Les méthodes exactes	37

## TABLE DES MATIÈRES

---

3.4.1.1	La méthode séparation et évaluation (Branch and Bound)	37
3.4.1.2	La programmation linéaire . . . . .	39
3.4.1.3	La programmation dynamique . . . . .	41
3.4.2	Les méthodes approchées . . . . .	42
3.4.2.1	Les heuristiques . . . . .	43
3.4.2.2	Les méta-heuristiques . . . . .	43
3.4.3	Programmation par contraintes . . . . .	45
3.5	Quelques problèmes classiques d'optimisation combinatoire . . . . .	46
3.5.1	Problème d'affectation . . . . .	46
3.5.2	Problème de sac à dos . . . . .	47
3.5.3	problème d'allocation des postes à quai (Berth Allocation Problem)	47
	Conclusion . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Modélisation du problème</b>	<b>50</b>
	Introduction . . . . .	50
4.1	Description du problème . . . . .	50
4.2	Principe et but . . . . .	51
4.3	Hypothèses considérées . . . . .	52
4.3.1	Collecte de donnée . . . . .	52
4.4	Construction de modèle . . . . .	54
4.5	Le modèle . . . . .	58
4.6	Exemple . . . . .	59
	Conclusion . . . . .	60
<b>5</b>	<b>Implémentation de notre modèle</b>	<b>61</b>
	Introduction . . . . .	61
5.1	Outils et logiciels d'optimisation . . . . .	61
5.1.1	Solveur . . . . .	61
5.1.2	Les langages de modélisation . . . . .	62
5.1.2.1	Le langage OPL (Optimization Programming Language) . . . . .	62
5.2	CPLEX . . . . .	63
5.2.1	Les composants du CPLEX . . . . .	63
5.3	IBM ILOG CPLEX Optimization Studio . . . . .	64
5.3.1	Le langage utilisé dans IBM ILOG CPLEX Studio . . . . .	65
5.4	Application du modèle . . . . .	67
5.5	Les résultats d'optimisation . . . . .	69
5.6	Interprétation des résultats . . . . .	73
	Conclusion . . . . .	73
	<b>Conclusion générale</b>	<b>74</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>76</b>

TABLE DES MATIÈRES

---

Résumé

79

# Table des figures

1.1	L'historique de Cevital . . . . .	5
1.2	Le système organisationnel de transport de Cevital . . . . .	6
1.3	Réseau de distribution de l'entreprise NUMILOG . . . . .	9
1.4	L'organigramme de SPA Numilog . . . . .	10
1.5	La flotte totale de la filiale Numilog . . . . .	11
1.6	Clients Numilog . . . . .	12
1.7	processus de préparation des commandes . . . . .	13
1.8	Les fonctionnalités d'un WMS . . . . .	14
2.1	Plan plateforme de Bouia . . . . .	18
2.2	Organigramme de Numilog Bouira . . . . .	19
2.3	flux sur la plateforme NUMILOG Bouira . . . . .	21
2.4	Infrastructure de stockage . . . . .	22
2.5	Matériaux de manutention . . . . .	22
2.6	Camions Numilog . . . . .	23
2.7	Processus d'expédition cv-food Numilog Bouira . . . . .	25
2.8	Processus de réception cv-food Numilog Bouira . . . . .	27
3.1	Démarche de résolution d'un problème d'optimisation . . . . .	32
3.2	Courbe d'une foction évaluation . . . . .	35
3.3	Classification des méthodes d'optimisation combinatoire . . . . .	36
4.1	Affectation des camions . . . . .	51
4.2	Temps d'immobilisation . . . . .	53
5.1	ILOG Optimization Suite . . . . .	63
5.2	Schéma de modèle . . . . .	67
5.3	Fenêtre des options du modèle . . . . .	68
5.4	Schéma d'exécution de modèle . . . . .	69
5.5	Affectation optimal avec 10 camions sur CPLEX . . . . .	70
5.6	Solution optimal avec 10 camions sur CPLEX . . . . .	70

## TABLE DES FIGURES

---

5.7	Affectation optimal avec 8 camions sur CPLEX . . . . .	71
5.8	Solution optimal avec 8 camions sur CPLEX . . . . .	71
5.9	Affectation optimal avec 6 camions sur CPLEX . . . . .	72
5.10	Solution optimal avec 6 camions sur CPLEX . . . . .	72

# Introduction générale

La Recherche Opérationnelle est apparue en Grande-Bretagne durant la seconde guerre mondiale lorsqu'on décida d'employer des méthodes scientifiques pour étudier divers aspects des opérations militaires. Depuis lors, la RO est devenue un élément important du processus de prise de décision dans de nombreux contextes commerciaux, industriels et gouvernementaux, car elle permet d'appréhender de façon systématique la complexité toujours grandissante des problèmes de gestion auxquels sont confrontés tant le secteur privé que public et vise l'amélioration des opérations des entreprises et des organismes publics par l'application de l'approche scientifique.

La Recherche Opérationnelle se trouve à l'intersection entre les mathématiques [27], l'informatique et la gestion, elle apporte une méthodologie de modélisation et une collection d'outils scientifiques pour aider à la prise de décision.

De nos jours, les entreprises industrielles évoluent dans un environnement compétitif. Les industriels sont toujours sollicités à innover en optimisant l'organisation de leurs entreprises. Pour qu'une entreprise puisse satisfaire ces client, elle doit avoir un service logistique performant et efficace.

La logistique au sens large est un processus de coordination et de déplacement des ressources (personnes, matériels, équipements, stocks, etc.) du lieu de production ou de stockage jusqu'à sa destination finale. Dans une entreprise la logistique est avant tout un moyen d'adopter une organisation efficace. Elle permet en effet de mieux gérer chaque tâche pour gagner du temps et améliorer la qualité des produits. Une fois la meilleure organisation trouvée, tous les services de l'entreprise pourront bénéficier des avantages d'une bonne gestion logistique : meilleure qualité, plus de rapidité, tâches simplifiées.

Pour éviter les mauvaises expériences et réussir à satisfaire sa clientèle, l'entreprise doit miser sur son pôle logistique pour proposer les meilleurs services possibles : la disponibilité de la marchandise toujours disponibles, livraison rapide, qualité des produits, etc. C'est pour cela que beaucoup d'entreprises s'intéressent à la Recherche Opérationnelle afin d'op-

## Introduction générale

---

timiser leurs productions et/ou leurs services.

L'étude effectuée dans ce mémoire a une relation avec le problème connue dans la littérature par le problème d'allocation des postes à quai (Berth Allocation Problem (BAP)). En effet, ce sujet a été traité dans plusieurs travaux de recherche, à titre d'exemple :

- The berth allocation problem, a formulation reflecting time window service deadlines : dans cet article, le BAP dynamique discret (DDBAP) est formulé comme un problème MIP linéaire avec l'objectif de minimiser simultanément le coût des départs tardifs des navires (départ après la fenêtre de temps) et de maximiser les avantages des départs précoces et ponctuels des navires ( départ avant et dans la plage horaire demandée). Deux modèles différents accompagnés d'exemples numériques et une comparaison avec d'autres modèles BAP sont présentés pour démontrer les avantages de la formulation proposée de programmation des quais [22].

- The berth allocation problem, a strong formulation solved by a Lagrangean approach : dans cet article, les propriétés du problème discret d'allocation des postes, formulé comme un problème d'ordonnancement dynamique, sont analysées. Une nouvelle formulation du problème est proposée, qui s'avère plus compacte et plus solide qu'une autre de la littérature, un algorithme heuristique lagrangien est développé et les résultats de calcul sont présentés [28].

- Problématique d'allocation au sein d'un  $\pi$ -hub : Cette recherche porte sur un problème d'allocation dans le contexte de l'internet physique visant à améliorer l'efficacité du  $\pi$ -hub rail-route en optimisant la distance parcourue par chaque conteneur jusqu'au quai, ainsi que le nombre de camions utilisés. Pour y parvenir, des approches heuristiques, métaheuristiques et multi-agents sont proposées. Lorsqu'on lui donne la séquence de tous les conteneurs dans le train, l'approche heuristique proposée peut affecter ces conteneurs aux portes sortantes. Ensuite, la méthode Simulating Recuit (SA) améliore cette allocation en minimisant la distance parcourue. De plus, un modèle de système multi-agents est proposé pour générer des solutions réactives prenant en compte les aspects dynamiques. Les résultats expérimentaux montrent que la SA proposée donne une amélioration d'environ 2,42 à 7,67 % par rapport à la solution générée par l'heuristique, il donne de bons résultats dans un délai raisonnable. À l'inverse, l'approche multi-agents fournit de bonnes solutions en cas de perturbations ou d'événements inattendus [29].

- A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals : Du fait de la variété des équipements techniques et des configurations des terminaux, la recherche a produit une multitude de modèles d'optimisation pour la planification des opérations dans les terminaux à conteneurs. Pour fournir un support dans la modélisation des caractéristiques du problème et dans la suggestion d'algorithmes applicables, cet article passe en revue la littérature pertinente. A cet effet, de nouveaux schémas de classification pour les problèmes d'allocation des postes et les problèmes d'ordonnancement des grues de

## Introduction générale

---

quai sont développés. Une attention particulière est accordée aux approches de solutions intégrées qui revêtent une importance croissante pour la gestion des terminaux [30].

- Vers un système d'aide à la décision pour l'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs : dans cette thèse, ils ont proposé deux modèles d'aide à la décision pour le problème d'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs, statique et dynamique. Ces systèmes ont été modélisés en prenant en considération des contraintes réelles qui se posent pour l'environnement opérationnel d'un terminal à conteneurs. Les formulations et les solutions des modèles mathématiques, présentées ici, cherchent à planifier de façon optimale l'accostage des navires entrants dans un terminal à conteneurs [8].

Lors de notre stage à Numilog situé à Bouira, la problématique qui m'a été soulevée est de déterminer la meilleure affectation des camions aux postes à quai.

Une solution optimale de ce problème se représente par un meilleur plan de service de (chargement/ déchargement) des camions entrants et des durées de séjour de longueurs minimales, ainsi qu'une optimisation de la planification des flux de palettes dans l'espace de stockage.

L'organisation de ce mémoire se compose d'une introduction générale, cinq chapitres et une conclusion générale :

- Introduction générale.
- chapitre 01 : Présentation de l'entreprise Numilog : à travers ce chapitre , on présente l'entreprise NUMILOG, ses activités, le contexte dans lequel elle évolue ainsi que sa stratégie logistique.
- chapitre 02 : Présentation du lieu de notre stage : la plateforme logistique de bouira,on décrit les processus clés de la PFL Bouira et les caractéristiques de la prestation de service logistique.
- chapitre 03 : Notions de base sur l'optimisation combinatoire, on s'intéresse à une description sur l'optimisation combinatoire et une description des principales méthodes d'optimisation utilisées dans la littérature.
- chapitre 04 : Consiste à modéliser notre problème de minimisation du temps de manutention on proposant un modèle d'aide de décision.
- chapitre 05 : Implémentation de notre modèle, on présente brièvement le logiciel d'optimisation CPLEX, et on donne la solution de notre modèle avec trois instances.
- Conclusion générale.

# Chapitre 1

## Présentation de l'entreprise Numilog

### Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter l'étude de l'existant effectué au sein de Numilog, qui a permis d'aboutir à la problématique traitée.

### 1.1 Le groupe Cevital

Cevital est un Groupe familial qui s'est bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée. Première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiés.

Cevital a été créé par l'entrepreneur Issad Rebrab en 1998, C'est le premier groupe privé Algérien, présent à l'internationale. Il détient 26 filiales aux activités diversifiées : agro-alimentaire, grande distribution, automobile, industrie, et logistique. . . etc. Il accapare plus de 60 % du marché algérien du sucre et des huiles végétales, avec une volonté de se tourner désormais vers l'exportation avec de capacités de production en forte croissance.

Le Groupe cevital développe depuis de nombreuses années une ambitieuse stratégie d'acquisition à l'international, à la recherche de relais de croissance à l'horizon 2025, en lui permettant d'atteindre une taille critique. Cette stratégie le fait changer d'échelle et jouer dans la cour des plus grandes entreprises mondiales.

Cevital mise sur plusieurs grands projets, aux synergies fortes avec ses activités en Algérie, sur le continent Européen et au Brésil. Sa méthode : acquérir le savoir-faire technologique, de la Recherche et Développement aux brevets, ainsi que les circuits de distribution internationaux pour lui permettre d'exporter.[1]

### 1.1.1 Evolution des activités stratégiques avant et après la création du groupe Cevital

Le Groupe Cevital a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre la taille et la notoriété dont il jouit aujourd'hui et ce tout en continuant à œuvrer dans la création d'emplois et de richesses au niveau national et international.[1]

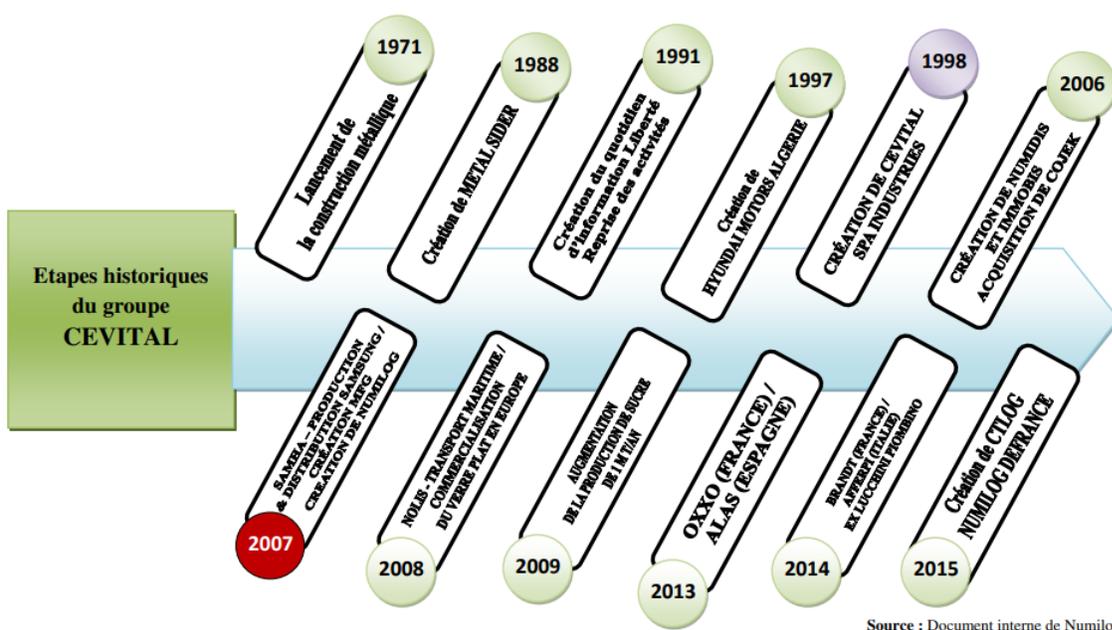


FIGURE 1.1 – L'historique de Cevital

### 1.1.2 L'importance stratégique de l'organisation logistique

Au départ, le groupe Cevital faisait appel à des prestataires externes pour assurer le transport de ses différentes marchandises. Alors que sur le plan de la logistique, chacune de ses filiales était dotée de sa propre structure de transport et de logistique.

La politique de développement de Cevital porte une attention particulière à la logistique. L'importance de ce domaine dans le business, son impact dans la réduction des coûts et l'augmentation des marges de compétitivité, a poussé le groupe à inclure la mise en place d'un réseau logistique renforcé en interne pour maîtriser l'ensemble de sa chaîne logistique.

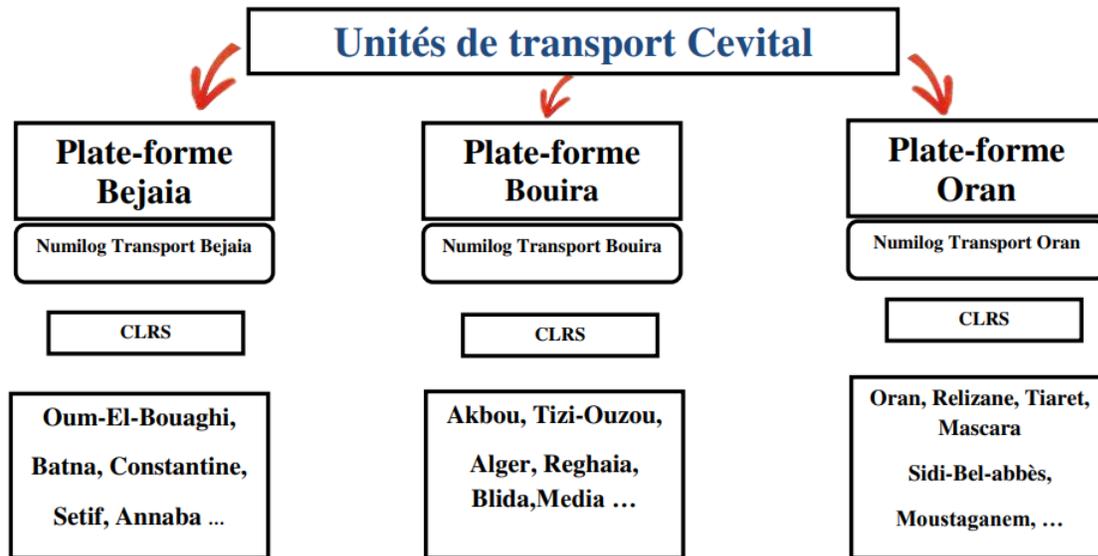
En amont, le groupe s'est doté d'une flotte maritime, de trois navires en propriété et d'autres, affrété, représenté par sa filiale Nolis (créée en 2000) assurant l'approvisionnement

en matières premières importées, en particulier d'Amérique latine.

En aval, il a créé un vaste réseau de transport routier, d'entreposage, avec une filiale de spécialité logistique Numilog (créée en 2007), et de grandes distributions représentées par la filiale Numidis (créée en 2007) qui projette le développement d'une chaîne de supermarchés et d'hypermarchés assistée par l'expertise d'une autre filiale Sierra Cevital (créée en 2011), cette dernière est une joint-venture entre le groupe Cevital et l'entreprise brésilienne Sonae-Sierra spécialisée dans le développement et la gestion de centres commerciaux .

### 1.1.3 Le système organisationnel de transport de Cevital

A partir de la figure ci-dessus nous pouvons voir le déploiement assez important du réseau du transport de Numilog à travers le territoire national. Le but de la création des différentes filiales de Numilog à (Oran, Bejaia et Bouira) : réduire les coûts, augmentation des marges de compétitivité et accompagner le développement des différentes filiales du groupe à travers la mise en place des centres logistiques régionaux (CLR) [1].



Source : Document interne de CEVITAL.

FIGURE 1.2 – Le système organisationnel de transport de Cevital

### 1.2 Numilog SPA

Après une tentative peu concluante (propositions coûteuses) de travailler en Algérie avec des prestataires européens, le groupe a créé la filiale logistique Numilog en 2007 et l'a liée à la Business strategic Unit.

Au début, la mission de Numilog était d'accompagner le déploiement de la filiale de distribution Numidis. Elle comptait alors 30 personnes et un entrepôt qui gérait les stocks sur tableur. Mais depuis, Numilog s'est largement étoffée et travaille pour d'autres filiales du groupe.

Numilog offre une prestation complète allant de stockage jusqu'à la distribution des produits à travers le territoire national. Elle se place comme un acteur incontournable de la chaîne logistique qui accompagne les industriels de différents secteurs dans la consolidation de leurs flux marchandises et l'optimisation de leurs activités, offrant des solutions adaptées en matière de Supply Chain, grâce aux infrastructures et outils modernes (géolocalisation, traçabilité, technologies de pointe...).

En décembre 2020 Numilog compte un effectif global de plus de 1193 collaborateurs (Encadrement, Chauffeurs, Agent logistiques, Agent d'exploitation) avec une flotte de plus de 950 véhicules tous types confondus (tracteurs, remorques, maraîcher, porte-conteneurs ensembles froids) qui permettent 500 livraisons quotidiennes pour les grossistes, distributeurs, centres commerciaux.

Aujourd'hui, Numilog c'est 75 millions d'euro de chiffres d'affaires, mais surtout 12 ans d'expertise, de création de valeurs et de partenariats fiables et durables dans les domaines de la prestation logistique.

- 2007 - 2013 : Filiale logistique dédiée au groupe Cevital.
- 2014 - 2018 : Ouverture sur le marché externe
- 2019 et + : Position de partenaire logistique pour l'ensemble du marché Algérien (Référence logistique incontournable En Algérie)

#### 1.2.1 Les activités de Numilog

Le transport et la logistique sont les deux moteurs de l'activité de Numilog. Ce sont deux métiers intrinsèquement liés, dans une relation de complémentarité des services fournis par Numilog. En d'autres termes, la logistique exige une planification bien ficelée pour prendre en charge tous les besoins dans ce domaine. Le transport, quant à lui, est le mode d'exécution de la planification établie, prenant en charge les marchandises des clients de la plateforme logistique aux Centres logistiques Régionaux (CLR).

### 1.2.1.1 L'activité de logistique

Elle consiste en une gestion rigoureuse des flux marchandises (Stockage, préparation de commandes, logistique du froid) avec une traçabilité complète des flux. Elle vise notamment une gestion optimale des stocks de manière à assurer la disponibilité permanente des produits. Elle permet par ailleurs un accompagnement sur mesure pour chaque secteur d'activités.

### 1.2.1.2 L'activité de transport

Elle assure une distribution répondant aux besoins et aux exigences des clients en matière de délais et de services. Elle offre des solutions performantes pour une optimisation des schémas de transport et des moyens suffisants et géo-localisés pour absorber les variations importantes d'activités. Elle vise notamment une distribution en flux tendu sur l'ensemble du territoire national.

## 1.2.2 Stratégie de Numilog

Numilog focalise ses activités en interne néanmoins elle recherche des opportunités pour évoluer à l'international.

### 1.2.2.1 Locale

Aujourd'hui, l'objectif de Numilog entend non seulement d'accompagner les filiales du Groupe Cevital, mais aussi aller à la conquête de l'ensemble du marché du transport et de la logistique qui se développe rapidement en Algérie. Dans cette optique Numilog se focalise sur l'amélioration de la logistique opérationnelle pour une réactivité très supérieure, une baisse significative des coûts, une nette amélioration de la qualité et du service au client et de meilleures performances. Elle joue sur l'axe de la réactivité et la flexibilité de l'entreprise pour satisfaire les attentes des clients qui sont de plus en plus exigeants en termes de délai et coût de prestation, et leur proposer d'une qualité de service irréprochable faisant face à la concurrence qui ne cesse pas à augmenter notamment celle de la coentreprise SNTR Logistics. L'entreprise veut s'implémenter à l'est pour renforcer les échanges commerciaux avec la Tunisie ainsi qu'à l'ouverture sur les wilayas du centre d'Algérie [2].

### 1.2.2.2 À l'international

L'avantage de l'entreprise, c'est que les décisions se prennent très rapidement, ce qui lui permet d'opérer des investissements dans une démarche très réactive. Ainsi, le groupe Cevital s'ouvre à l'international pour exporter ses produits en construisant le réseau logistique nécessaire. Pour ce faire, Numilog a mis en place de nouvelles filiales de transport et de logistique dévolues à l'international : au Maroc et en France, sous le nom Ctlog International, afin de commercialiser des produits sortis des filiales de Cevital notamment.

### 1.2.3 Le réseau de distribution

Le réseau de distribution de Numilog est composé par 4 PFL implantées à l'est, le centre et l'ouest du pays (Oran, Constantine, Sétif et Bouira) pour couvrir le maximum du territoire national soit une surface totale de stockage d'environ 190 000 m<sup>2</sup> ( dont 45 000 m<sup>2</sup> de surface froide ) et 3 Agences de Transport (Bouira, Bejaia, Oran) sont indépendantes de la direction des plateformes, elles assurent le transport pour les différentes filiales du groupe Cevital, et sous-traitent le transport aux industriels sur tout le territoire national.

Une force de frappe totale de plus de 950 véhicules tous types confondus (Flotte propre : 550 camions/ Réseau partenaires 400 camions/762 conducteurs).

Ainsi qu'un réseau de distribution 35 CLR (Centres logistiques Régionaux).

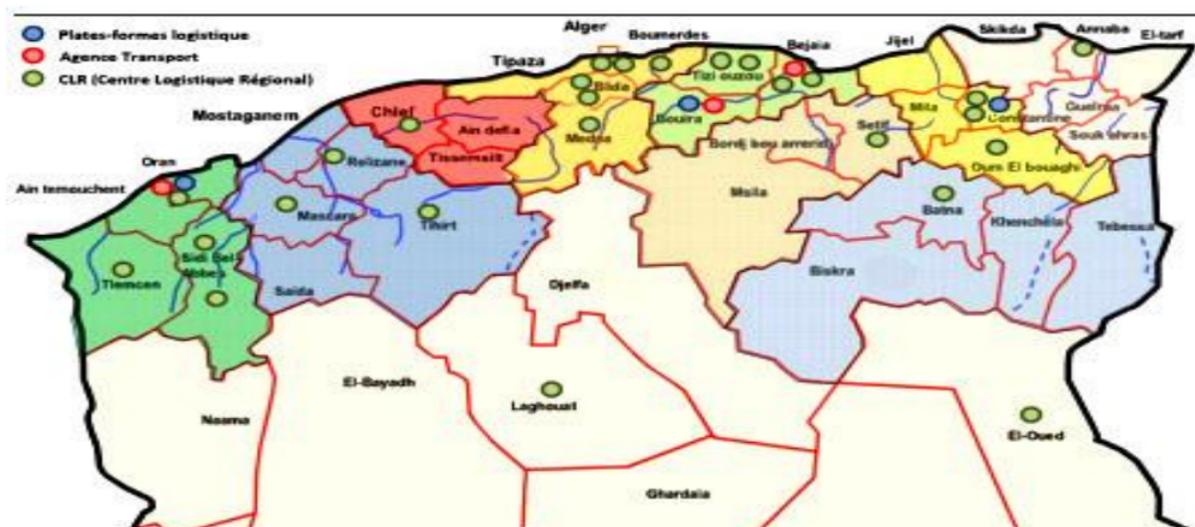


FIGURE 1.3 – Réseau de distribution de l'entreprise NUMILOG

### 1.2.4 Le système de transport Numilog vers ses clients

Ce système explique comment Numilog distribue la marchandise de son premier client pour alimenter les CLR, PL et les grandes industries.

#### 1.2.4.1 Plateforme logistique (PFL) de l'entreprise NUMILOG

Les PFL sont destinés à la réception des produits, leurs stockages et la livraison de ses produits aux CLR quotidiennement. Sans oublier que chaque plateforme est destinée à alimenter les CLR situé dans la même région. Le temps de service de ses plates-formes est de 24h/24h.[3]

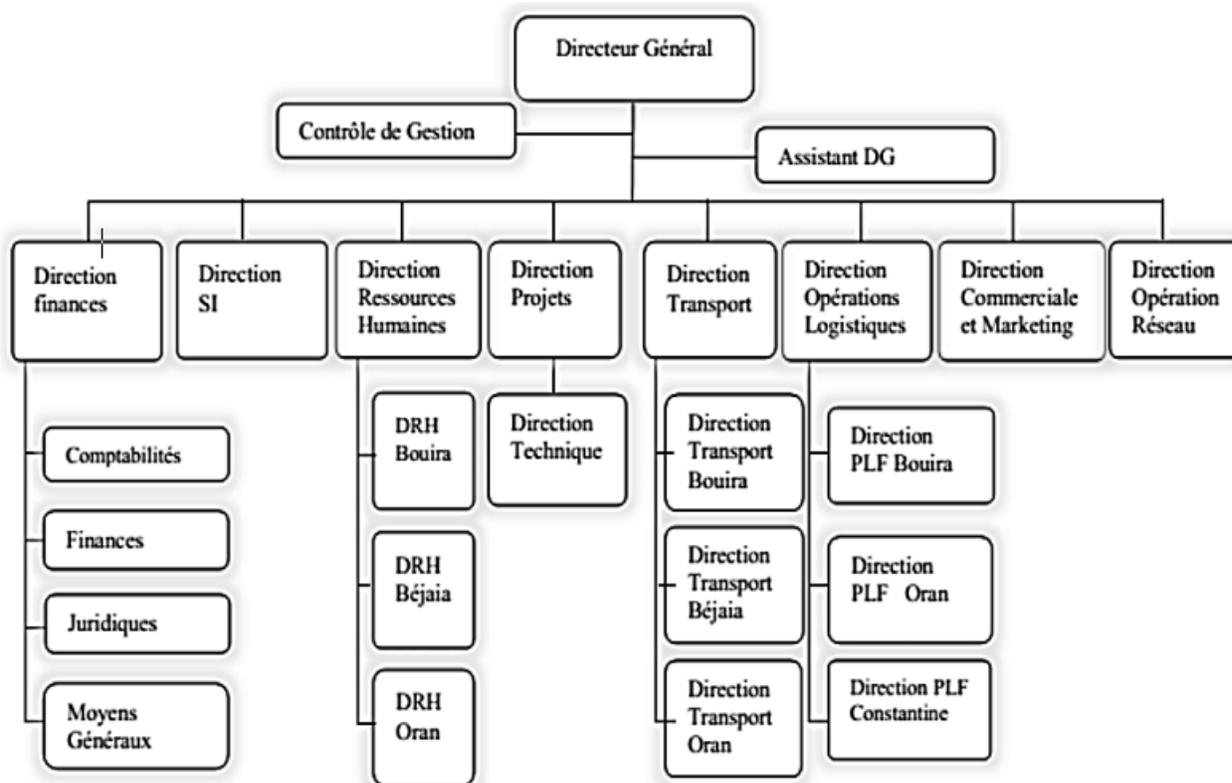
### 1.2.4.2 Centre Logistique Régional (CLR)

Numilog contient 35 CLR dont 06 mutualisés (plusieurs clients dans le même entrepôt) pour activité principale de prestation de manutention (Réception — Stockage — Expédition), réparti sur le territoire national, le but de ces CLR est de réduire les frais de transport et les délais de livraison grâce à une plus grande proximité aux clients finaux, attaché au service d'exploitation transport, implantés dans plusieurs régions au niveau national avec une capacité de stockage importante.

L'implantation des CLR est faite sur trois régions principales : Centre, Est et ouest dont la durée est déterminée selon le contrat de location.[3]

### 1.2.5 L'organigramme de SPA Numilog

L'organigramme suivant présente les différentes directions au sein de la SPA Numilog.



Source : document interne de NUMILOG

FIGURE 1.4 – L'organigramme de SPA Numilog

### 1.2.6 La flotte matérielle de Numilog

L'entreprise Numilog met à disposition de ses clients des moyens matériels diversifiés à savoir :

- Le transport sous froid (température dirigé)
- Le transport citerne à liquides alimentaire (azotémique et normal)
- Le transport citerne de produits dangereux
- Maraichers
- Le transport cocote
- Le transport squelette (port conteneur)
- Le transport hors gabarie (avec des remorques extensives portes chars)
- Le transport plateaux qui font l'objet de tous types de satisfaction des demandes des clients, à côté d'un réseau de distribution couvrant l'ensemble du territoire national.

agence	cellule	citerne	cocotte	maraicher	plateau	porteur	squelette	tracteur	Total général
<b>Bejaia distribution</b>	08	24	1	136	2		10	111	<b>292</b>
Bejaia Ilk				34	2			35	<b>71</b>
Bejaia M a D				3	10			2	<b>15</b>
Bouira frais	78			5		5		60	<b>148</b>
Bouira sec				76	4		24	66	<b>170</b>
El Khroub	3	4		12	1	1		14	<b>35</b>
Oran	8	2		39				25	<b>74</b>
Sétif 05M				49	1		16	46	<b>112</b>
Tractionnaire		14		7				1	<b>22</b>
<b>Total général</b>	<b>97</b>	<b>44</b>	<b>1</b>	<b>361</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>50</b>	<b>360</b>	<b>939</b>

Source : document interne NUMILOG Bouira

FIGURE 1.5 – La flotte totale de la filiale Numilog

### 1.2.7 Clients Numilog



FIGURE 1.6 – Clients Numilog

### 1.2.8 Processus de préparation des commandes

Lorsqu'une commande est émise, celle-ci doit passer par plusieurs étapes, ce qui permettra à l'opérateur de la traiter dans des conditions optimales.

La PDC comprend successivement les opérations suivantes :

**Prélèvement** : il s'agit de la collecte des articles dans leur emplacement de stockage.

**Tri** : cette opération consiste à identifier et rassembler les articles correspondant à un même poste de commandes, à la même commande, à un même client.

**L'emballage** : des colis préparer a pour but de faciliter les opérations de manutention et de transport.

**Le contrôle** : le préparateur de commandes vérifie le poids des palettes et des étiquettes pour garantir la traçabilité des marchandises.

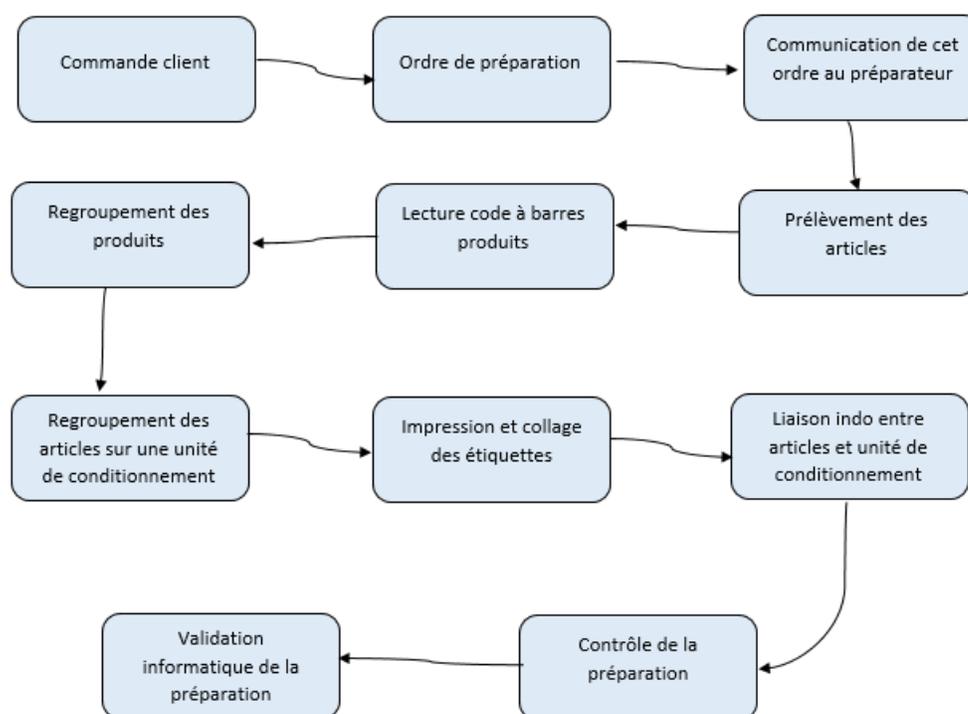
le schéma en dessous représente les étapes de PDC. Dans un premier temps, on va recevoir une commande client qui est transformée en ordre de préparation( picking list) puis va être récupérer par le préparateur (document papier, afficher dans un écran, préparation vocal,...).

Par la suite, le préparateur va prélever tous les articles nécessaires dans dans les emplace-

ments indiqués et à chaque fois il va lire les codes barres par produit, ce qui va permettre de mettre à jour informatiquement les stocks de l'entrepôt. Ces produits vont être regroupés en zone de préparation et mis dans une unité conditionnement (palette).

Ensuite, on va imprimer et coller les étiquettes sur chacune des palettes, puis, on va scanner la palette pour les lier informatiquement avec tous les produits qui sont à l'intérieur.

La préparation va ensuite être contrôlée et validée informatiquement afin que dès qu'on puisse être expédiées [26]. Le résumé du processus de préparation de commande est donné par le schéma suivant :



Source : Document interne Numilog Bouira

FIGURE 1.7 – processus de préparation des commandes

### 1.2.9 Description du processus de distribution

Le responsable du service d'exploitation transport reçoit des commandes à expédié chaque soir entre 16h et 18h. Ces bons doivent être chargés le même jour. Le responsable distribue ses bons aux planificateurs selon les destinations. Les planificateurs mobilisent tous les camions disponibles pour effectuer ces livraisons et mettre en place un plan d'expédition efficace, dans le cas où leur propre flotte ne peut pas satisfaire ces commandes, le

responsable de service d'exploitation transport doit faire appel aux sous-traitants.

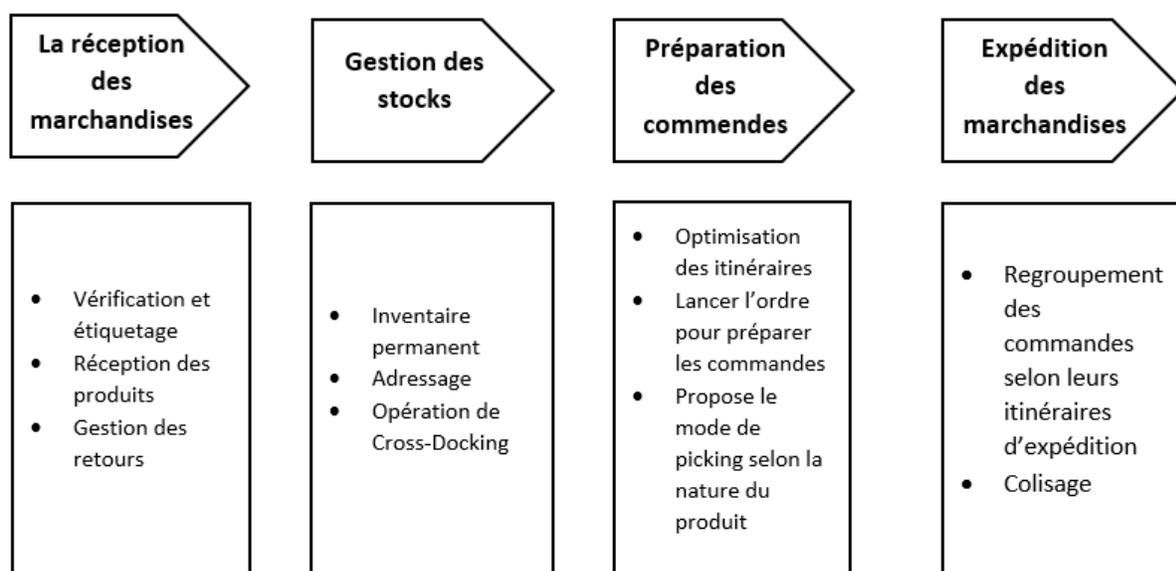
Après la planification des expéditions le planificateur préparé les documents qui doit accompagner le chauffeur dans sa mission : bon de chargement, fouille de route et l'ordre de mission.

### 1.2.10 Moyens Techniques

La maîtrise des nouvelles technologies de l'information et de la communication, voir les différents systèmes informatiques permettent la maîtrise et le contrôle des activités et des normes de travail.

#### 1.2.10.1 TMS – Transport Management System

Le Transport management system (TMS) ou Warehouse Management Systems (WMS) en anglais, est un système sectoriel de gestion des ressources de l'entreprise qui connaît un succès croissant parmi les entreprises de logistique. Ainsi, ce logiciel offre une application informatique qui couvre toutes les activités liées à la gestion des transports, depuis la gestion des données de base et l'installation des offres jusqu'à la facturation des clients et de sous-traitant, par la gestion des ordres de transport.



Source : document interne Numilog Bouira

FIGURE 1.8 – Les fonctionnalités d'un WMS

Numilog utilise Reflex comme solution WMS.[4]

### 1.2.10.2 Les Entreprises Ressource Planning (ERP)

Les ERP et appelés aussi ERM (Entreprise Ressource Management) ont vocation à la gestion de l'ensemble des activités logistiques et opérationnelles de l'entreprise, ils sont découpés en modules correspondant à des ensembles cohérents de fonctionnalités tel que le module de gestion de la production (du l'approvisionnement et des stocks) le module comptable (achat et force de vente), Le module de comptabilité générale (de comptabilité analytique et comptabilité tiers).

Concrètement, ils permettent la planification des réapprovisionnements à partir des capacités maximales de stockage, de calculer le nombre d'entrepôts nécessaires par région, de sélectionner le mode de transport le plus économique.[27]

### 1.2.10.3 Géolocalisation

L'entreprise de transport Numilog effectue ses missions par tournées : elle mutualise les trajets et regroupent les collectes et livraisons par zone géographique pour éviter des allers retours inutiles et coûteux. En améliorant le suivi de ses flottes de véhicules, l'entreprises de transport cherche donc à optimiser ses tournées, afin d'augmenter son efficacité et de réduire ses coûts.

L'optimisation du suivi est rendu possible grâce à la géolocalisation de la flotte automobile de l'entreprise qui peut, à tout moment, savoir où est localisé chaque véhicule et adapter son itinéraire en temps réel, pour répondre à tous les aléas.

Optimiser le plan de tournées signifie l'utilisation de moins de véhicules, garantir une livraison des clients dans les meilleurs délais, augmenter la productivité des chauffeurs, des livreurs et surtout réduire la consommation en carburant.[4]

### 1.2.10.4 Le système EDI

La technique de l'EDI a pour but de réaliser des échanges automatiques d'information entre les partenaires avec une sécurité des transferts, il permet une précision des informations échangées et aussi leurs lisibilités par les différents partenaires.

L'émission et la réception par de machine nécessitent un langage commun avec un codage et une structure de l'information.[4]

### 1.2.10.5 Le courrier électronique (la messagerie)

Les E-mails sont des supports de communication ; Dans l'entreprise Numilog, ils sont utilisés à 90%, ce qui permet l'échange d'informations en courte durée et en sécurité.

## **Conclusion**

À travers ce chapitre , on a présenté l'entreprise NUMILOG, ses activités, le contexte dans lequel elle évolue ainsi que sa stratégie logistique.

# Chapitre 2

## La plateforme logistique de Bouira

### Introduction

On présente dans ce chapitre le lieu de mon stage, la plateforme logistique de Bouira.

### 2.1 Présentation générale de l'établissement

La plateforme logistique (PFL) de Bouira est l'une des trois plateformes exploitées par l'entreprise NUMILOG dans son activité de prestation de services logistiques, du transport. Située sur la route de Nassis, à 3 KM au sud-Ouest de la ville de Bouira, elle est d'une surface totale de 75 000 m<sup>2</sup> dont 43 000 m<sup>2</sup> de surface à température ambiante, 28 000 m<sup>2</sup> de température dirigée et 4 000 m<sup>2</sup> de surface administrative.

Elle dispose de 15 cellules dont 9 exploitées par les trois exploitations Numidis, Brandt et Cevifood et 6 pour le stockage à température dirigée Danone, Condia, Tchiv-lait, D'une capacité qui va de 60 000 à 80 000 palettes selon le mode de stockage utilisé, la PFL est équipée de 92 quais et 6 rampes d'expédition/réception.

Le début de sa construction remonte aux années 2009, pour rentrer en exploitation en 2013.

- Moyens matériels : 86 Machines, dont : 35 Chariots, 51 Transpalettes
- Type de stockage actuel : Masse / Peletier / Accumulation
- Nombre d'employées = 368

La PFL Numilog de Bouira dispose 6 blocs administratifs dont 5 aménagés à savoir :

- **B0** :Bloc administratif dédié à la direction et aux fonctions supports.
- **B1** :Bloc de technique et maintenance.
- **B2** :Admin cevifood.
- **B3** :Admin Numidis et service méthodes et planning.

- **B4** :Admin Sobco palmary et agence de transport.
- **B5** :Admin Danone.



FIGURE 2.1 – Plan plateforme de Bouia

## 2.2 Organigramme de Numilog Bouira

la figure 2.2 montre l'organigramme de la PFL de Bouira, cette PFL se sépare en deux sous-direction principales à savoir l'opérations et le support. La direction opération s'est elle qui crée la valeur et génère le profit pour l'entreprise, en revanche, la direction support aide à atteindre des objectifs fixés et ne génère pas de profit.

la direction logistique c'est au niveau de cette direction qu'on a effectuer notre stage pratique on a constaté que cette direction et divisé en deux pôles principal : administrative ( flux d'informations) et exploitation logistique (flux physiques).

les deux pôles travaillent en étroite collaboration pour assurer une bonne gestion des flux du client. La direction logistique est au cœur de la mission de Numilog qui vise la satisfaction du client.

Le Pôle exploitation logistique assure toutes les opérations de manutention en vrac et/ou avec machine, on peut citer :

- chargement et déchargement
- stockage, préparation
- emballage, transfert
- tri.

## CHAPITRE 2. LA PLATEFORME LOGISTIQUE DE BOUIRA

---

En revanche, le pôle administratif est chargé de fournir toutes les informations pour le bon déroulement des opérations logistiques, on cite :

- Traitement des réception et des expéditions
- Traitement des commandes avec leurs préparations
- Edition des documents
- Inventaires
- Répondre aux requêtes client
- Comptes rendu

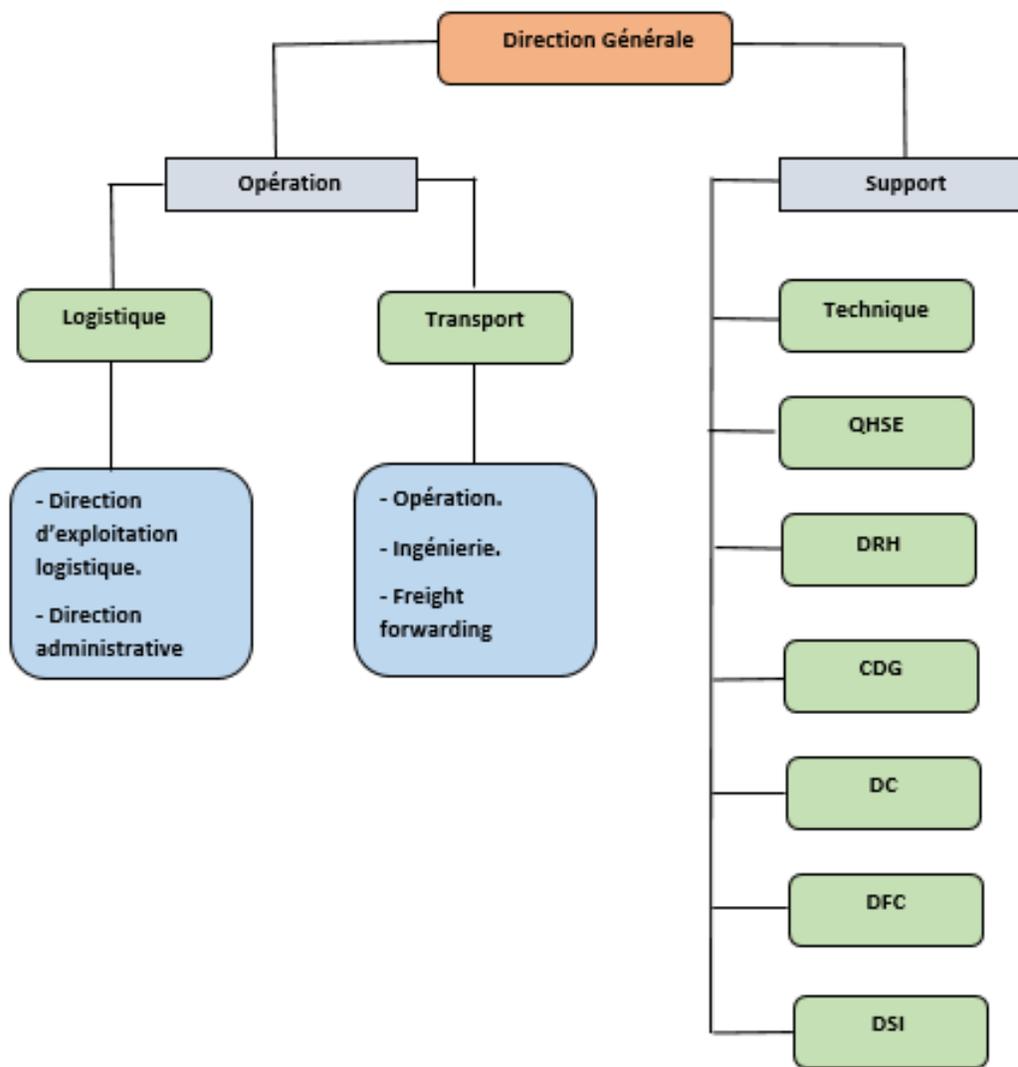


FIGURE 2.2 – Organigramme de Numilog Bouira

## 2.3 Les activités principales

La plateforme de Bouira exerce deux activités la logistique et le transport.

### 2.3.1 La logistique

Dans son activité logistique, la PFL de Bouira gère quatre dossiers principales :

- **Le client Sobco Palmary :**

Il s'agit d'un client qui occupe un stock d'une moyenne de 11000 palettes par mois.

- **Le client Numidis :**

Numidis est l'une des nombreuses activités de logistique et du transport exercées par Numilog, il constitue l'activité la plus importante et la plus riche exploitée par Numilog à la PFL de Bouira, en termes d'applications des différents processus et en termes de la multitude des références produits gérées.

- **Le client Cevifood :**

Il constitue d'une part l'activité la plus importante en termes de flux physiques. D'autre part, le vecteur de distribution des produits de la société mère Cevital.

- **Le client Danone :**

Danone parmi les plus importants que NUMILOG traite. Le dossier Danone prend son importance de la nature des produits stockés, qui demande une application stricte des règles de la logistique et une précaution spéciale en termes de sécurité, d'ailleurs, il ne contient pas que des produits laitiers frais divers, mais aussi des produits fragiles et qui contiennent une DLC (date limitée de consommation).

Ces produits viennent de trois sources différentes qui sont l'usine d'Akbou, Tessala et Constantine, pour être distribué à la fin vers les différentes CLR et distributeurs.

### 2.3.2 Le transport

Disposant d'une flotte exploitable de 79 camions et de 118 chauffeurs, l'agence du transport Numilog de Bouira réalise le transport de marchandises pour les clients internes du groupe Cevital : CeviFood, Brandt, Numidis. Et les clients extérieurs comme Danone, Biopharm et Saïda...etc.

La direction de transport Bouira est indépendante de directeur de la PFL.

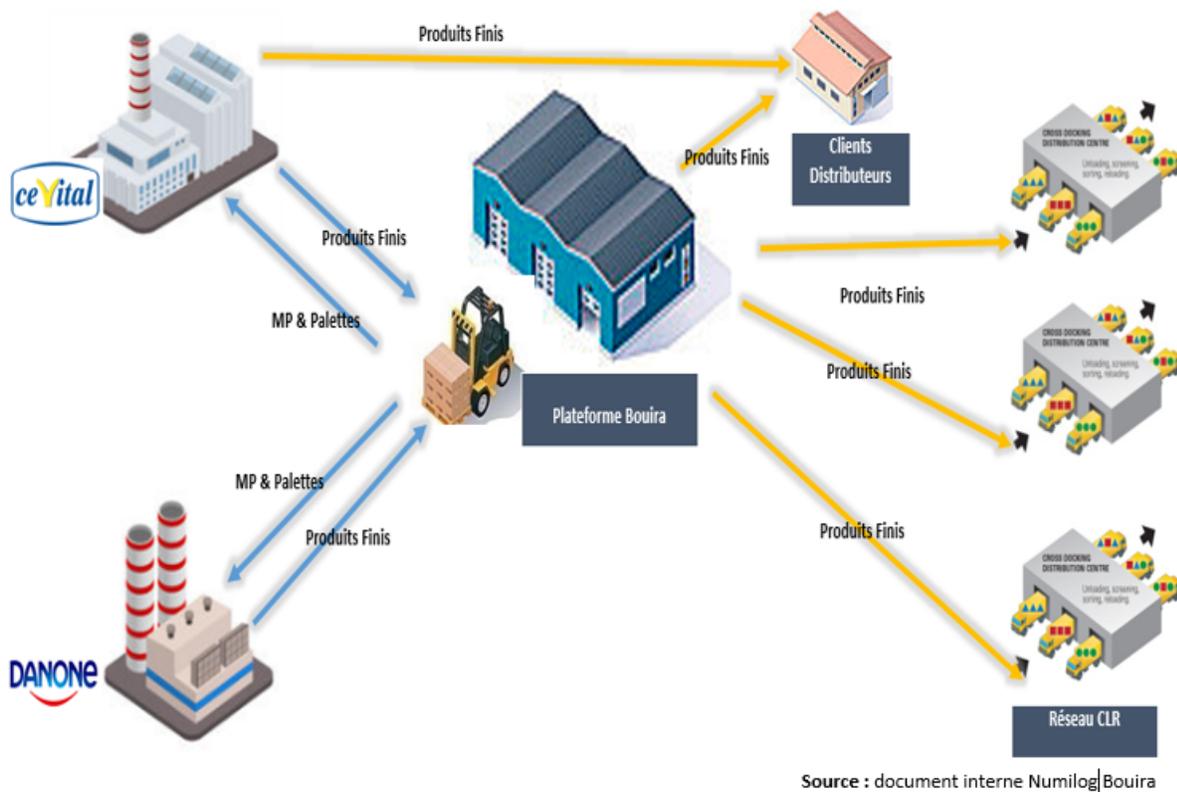


FIGURE 2.3 – flux sur la plateforme NUMILOG Bouira

## 2.4 Infrastructures de stockage, Matériaux de maintenance et Camions

### 2.4.1 Infrastructures de stockage

Les divers produits sont rangés sur palettes, au sol, ou sur des rayonnages métalliques, dont l'affectation et l'enlèvement sont codifiés et entièrement informatisés.

Le mobilier de stockage est adapté à la nature des produits entreposés ainsi qu'à leur rotation de stock. On trouvera le plus fréquemment :

- Des palettiers (ou racks) destinés à l'entreposage de palettes
- Des étagères



FIGURE 2.4 – Infrastructure de stockage

### 2.4.2 Matériaux de manutention

Afin de faciliter les opérations de manutention des marchandises, on trouve dans l'entrepôt les engins de manutention suivants :

- Transpalette
- Chariots élévateurs et gerbeurs à conducteur porté (électriques et à gaz) avec poste de chargeurs de batteries
- Préparateurs de commande
- Nacelles
- Diables



FIGURE 2.5 – Matériaux de manutention

### 2.4.3 Camions

Les produits à conservation à température ambiante sont transportés dans des camions bâchés. Cependant pour préserver la salubrité des aliments (périssables), il est indispensable de respecter la chaîne de froid, c'est pourquoi l'unité dispose de camions frigorifiques.



FIGURE 2.6 – Camions Numilog

### 2.4.4 Caractéristiques des produits gérés

- **Les produits stockés :**  
sont constitués de diverses marchandises, dont des denrées alimentaires périssables en l'absence des conditions de conservation adaptées (températures, humidité, temps. . .) et non périssables dans les conditions de températures ambiantes (sous réserves des délais de péremptions donnés) ainsi que d'autres articles.
- **Un produit avarié :**  
Peut engendrer des effets négatifs sur le milieu, s'il n'est pas géré d'une manière correcte (putréfaction suivie de mauvaises odeurs, contamination bactérienne et risques de maladies sur le consommateur éventuel. . .).
- **Les produits contenant des substances chimiques (cosmétiques, détergents. . .) :**  
Stockés ne sont pas classés dangereux en l'état, en termes de nocivité intrinsèque soit de par leur composition ou de leur emballage.

## 2.5 Processus de gestion des stocks

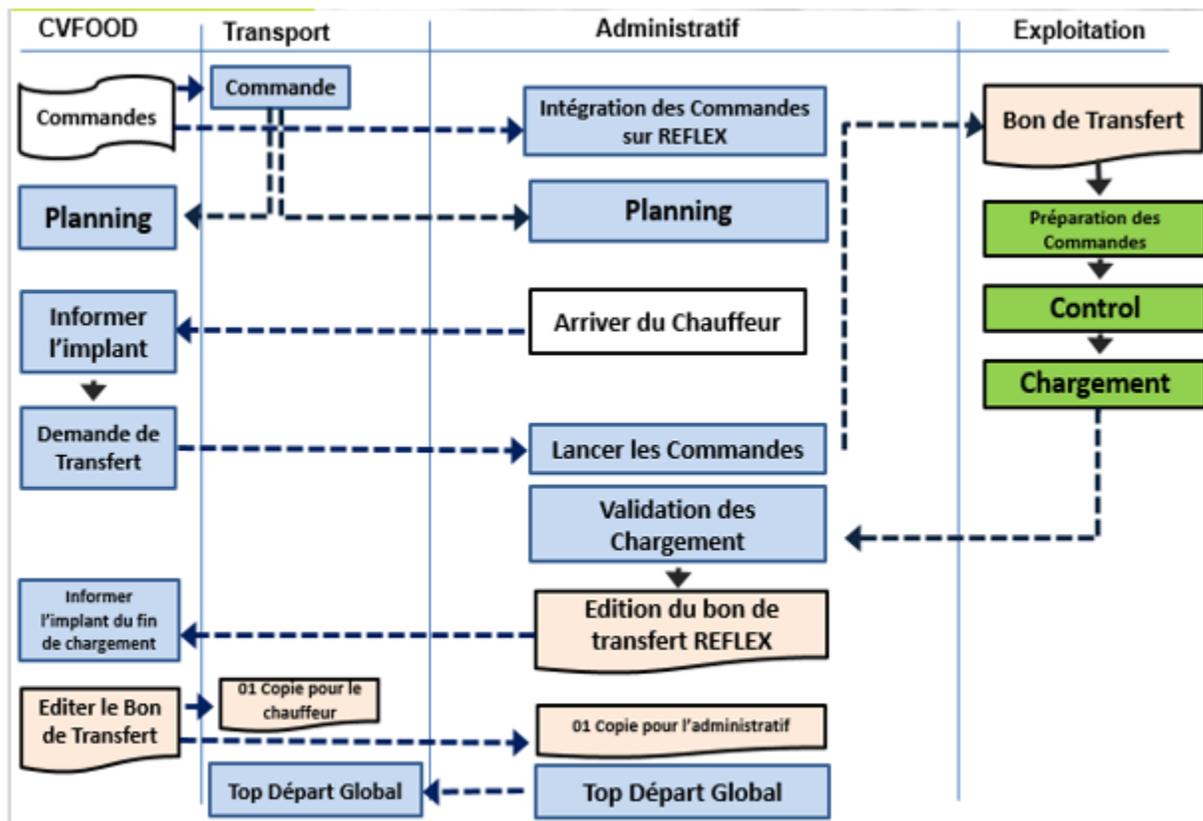
- 1) Inventaires quotidiens :
  - i. Emplacements en stock, touchés en prélèvement à J-1.
  - ii. Emplacements picking touché à J-1.
  - iii. Emplacement de mise en stock des réceptions de J-1 (code article/DLC/quantités).
- 2) Inventaire hebdomadaire des emplacements vides.
- 3) Inventaire ciblé sur des articles présentant une anomalie de livraison.
- 4) Inventaire exceptionnel à la demande du client.
- 5) Diffusion quotidienne (en interne) du taux de fiabilité des stocks.
- 6) Tracer les profils de toutes les erreurs commises J-1, aider les opérationnels à corriger et s'améliorer.
- 7) Analyse des écarts et mise à jour des stocks dans les temps.

## 2.6 Processus Préparations et Expéditions des commandes

- 1) Intégration des commandes sur REFLEX (via EDI) sinon saisie manuelle.
- 2) Génération et lancement des commandes intégrées sur REFLEX par l'agent ADM.
- 3) Préparation de la marchandise commandée, conformément au processus REFLEX de préparation par l'exploitation NUMILOG.
- 4) Affectation des camions à J+1 au chargement par le service transport, selon le besoin ressorti sur les volumes à expédier.
- 5) Présentation du chauffeur au bureau ADM, pour récupérer un ordre de chargement (contenant le N° Quai, la destination de chargement) ainsi que la fiche de contrôle qualité.
- 6) Au passage à quai de chargement, le chauffeur :
  - i. Assure le calage du camion.
  - ii. Remis les clés au CEL.
  - iii. Remis l'ordre de chargement et la fiche de contrôle qualité au CEL.
- 7) Prise de température intérieure et vérification de l'état d'hygiène du camion (remplir la fiche de contrôle qualité).
- 8) Procéder au chargement de la marchandise par les Opérateurs Logistiques, conformément au processus de chargement REFLEX avec la présence obligatoire du chauffeur.
- 9) À la fin du chargement :

## CHAPITRE 2. LA PLATEFORME LOGISTIQUE DE BOUIRA

- i. Arrimage de la marchandise chargée par le chauffeur.
  - ii. Plombage du camion par le chauffeur.
  - iii. Remise de l'ordre de chargement et la fiche de contrôle qualité au chauffeur validé par le CEL.
- 10) Chauffeur se rend au bureau ADM, muni de l'OC et la fiche de contrôle qualité validé.
  - 11) L'ADM relèvera le code chargement sur l'OC, saisira les coordonnées chauffeur avec le N° plomb sur le chargement REFLEX.
  - 12) L'ADM éditera un BT en 03 exemplaires, et un document REFLEX (Liste Récapitulative Transport) réservé au chauffeur en 02 exemplaires, les valider et faire signer par le chauffeur.
  - 13) Le chauffeur part à destination, muni de 02 copies BT et 02 copies LRT et la facture du client.
- (LRT : Liste Récapitulative Transporteur).[2]



Source : Document interne NUMILOG Bouira

FIGURE 2.7 – Processus d'expédition cv-food Numilog Bouira

## 2.7 Processus de Réception des camions

- 1) Arrivée du chauffeur au PC sécurité et l'orienter vers le bureau ADM.[2]
- 2) Le chauffeur se présentera avec un bon de Transfert Usine (codes article, quantités, DLC et d'autres s'il y a lieu) et une fiche navette ou d'anomalies.
- 3) L'agent ADM procédera à la génération de la réception physique.
- 4) Une fois la réception physique est générée, l'ADM procédera à l'édition du bon de réception REFLEX.
- 5) L'agent ADM affectera le chauffeur à quai (après concertation avec le chef d'équipe sur la disponibilité des quais de réception) en lui remplissant un ordre de déchargement le joindre au BT et au BR.
- 6) Une fois le camion à Quai :
  - i. Le chauffeur : Assurera le calage du camion et la remise des clés au Chef d'équipe.
  - ii. Vérification de l'état du plombage et la concordance de son numéro à celui inscrit sur le BT usine par le Chef d'Équipe Numilog et l'agent Qualité Danone si le transport n'est pas assuré par Numilog.
  - iii. Déplombage du Camion et prise de température intérieure du camion par le chef d'équipe Numilog.
- 7) Déchargement et le trie avec la présence obligatoire du chauffeur dans le cas où celui-ci porte des chaussures de sécurité.
- 8) Vérification qualitative et quantitative des produits.
- 9) Remplir une fiche contrôle de réception (état du camion et des colis).
- 10) Libération du chauffeur : à la fin de déchargement du Camion, accuser le BT et l'OD par le CEL puis l'agent ADM, portant sur le BT toutes les mentions nécessaires :
  - i. Date de réception physique.
  - ii. Nom et prénom du réceptionnaire.
  - iii. Observations (casse, manque, surplus).
- 11) Étiquetage des différents colis en anomalie par le service qualité (REJECT et HOLDING). Pour les articles étiquetés en HOLDING, leur mise en stocks sera dans une zone spécifique (Zone HOLDING), après les tests du service qualité :
  - => Si c'est conforme, le produit passe dans la zone Standard.
  - => Sinon, le produit passe dans la zone REJECT.
- 12) Scan des EAN de l'UM, étiquetage des palettes (étiquette supports REFLEX) s'il y a lieu.
- 13) Validation informatique de la réception.
- 14) Mise en stock.
- 15) Edition du compte rendu de réception par l'agent ADM (Document REFLEX), pour constitution de la liasse réception (BT, CR REFLEX et la fiche navette ou anomalie).

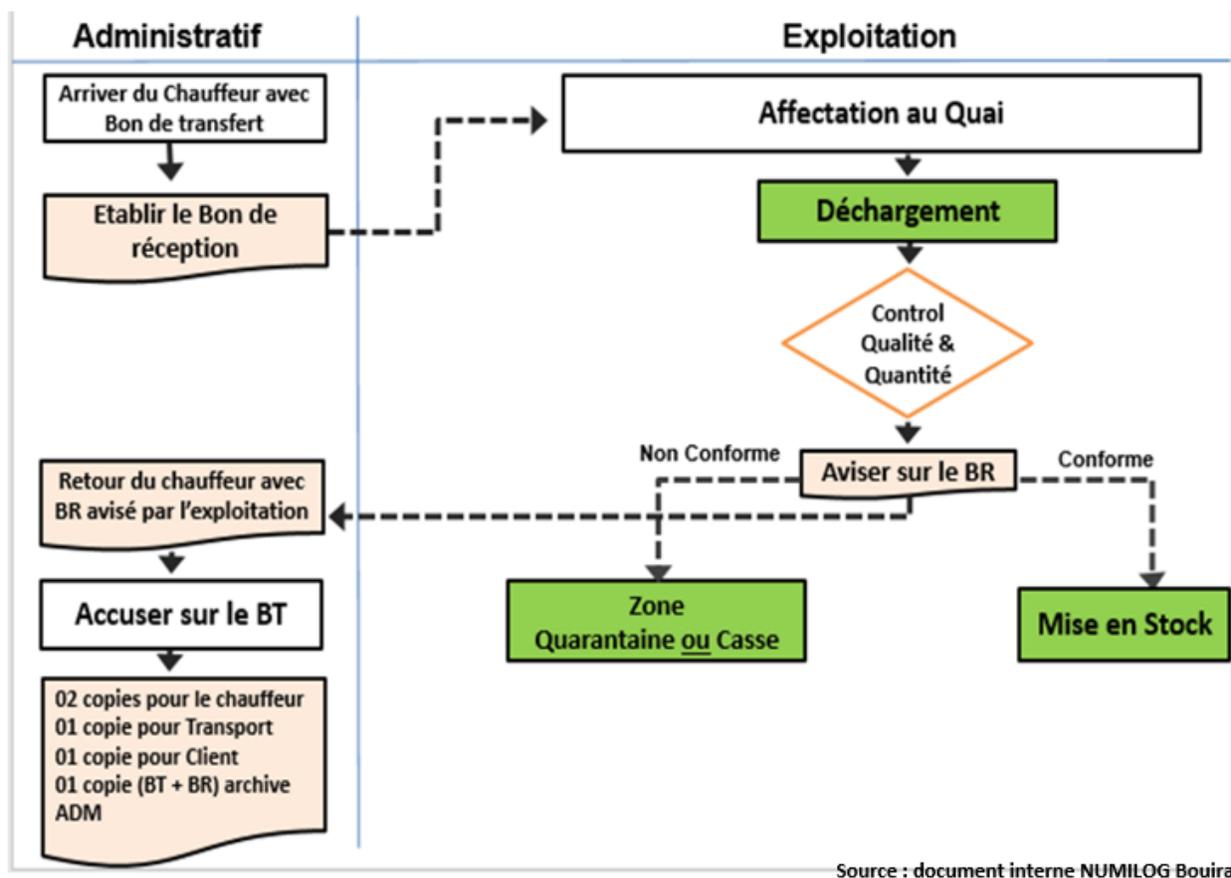


FIGURE 2.8 – Processus de réception cv-food Numilog Bouira

## 2.8 Optimisation de la supply chain

Quand on s'attaque à l'optimisation de sa supply chain, chaque étape doit être prise en compte. Les quais d'un entrepôt sont un point crucial dans une chaîne logistique. Ils peuvent représenter un véritable goulot d'étranglement et mettre en péril la fluidité des flux, pénalisant au final la qualité de service et la satisfaction client.

### 2.8.1 L'occupation des quais au cœur des opérations

Pour que la planification des opérations à quai soit optimale, les chefs d'entrepôt doivent avoir de la visibilité sur :

- La disponibilité des quais de chargement et déchargement à l'instant.
- L'occupation actuelle des quais et leur horaire prévisionnel de disponibilité
- L'usage possible d'un quai pour un approvisionnement ou un départ en livraison à une heure donnée.

Pour disposer d'une telle visibilité en temps réel sur les opérations en cours et à venir, les responsables d'entrepôt ont besoin d'outils développés spécifiquement à cet effet. Objectif : gérer toujours plus efficacement l'occupation des portes et l'attribution des quais disponibles.

### 2.8.2 La frustration des retards aux quais de chargement et déchargement

Les retards aux quais de chargement sont l'une des raisons pour lesquelles les chauffeurs abandonnent la profession ou quittent leur employeur pour une autre.

L'une des principales plaintes des chauffeurs concerne les retards et les immobilisations dans les installations clients, lorsque le camion attend d'être chargé ou déchargé. Ces retards peuvent parfois durer plusieurs heures. Cette perte de temps se répercute sur les limites d'heures de service du conducteur.

Par ailleurs, les retards peuvent également avoir une incidence sur la rémunération d'un conducteur, s'il est payé au kilomètre et que les règles sur les limites d'heures de service l'empêchent d'effectuer des ramassages ou des déposes supplémentaires. Que les chauffeurs soient payés à l'heure ou au kilomètre, les retards à quai constituent l'une de leurs principales plaintes professionnelles, car ces retards les empêchent de rentrer chez eux à l'heure.

Le recrutement et la fidélisation des conducteurs constituent un défi majeur pour les entreprises de transport routier. Pour rendre la carrière professionnelle de chauffeur routier plus attrayante, les transporteurs routiers vont devoir prendre des mesures comme augmenter les salaires, améliorer les conditions de travail et réduire autant que possible le mécontentement au travail.

### 2.8.3 Les enjeux d'une bonne gestion de quais

Les opérations à quai ont une position centrale dans une supply chain. Les enjeux d'une bonne gestion de quais sont donc multiples car ils impliquent l'ensemble des parties prenantes : fournisseur, transporteur et client.

- Le respect des délais de livraison en respectant les temps de chargement et déchargement imparti et en réduisant les temps d'attente chauffeur. Il faut éviter qu'un camion reste bloqué à quai ou dans la cour. C'est la satisfaction du client qui est en jeu.
- L'optimisation des ressources humaines et matérielles à quai pour assurer les opérations nécessaires à chaque arrivée de camion. Le lissage de l'activité des quais et de la charge de travail est pour cela intéressant car il permet d'éviter d'avoir des périodes très chargées où on risque de manquer de ressources et des temps morts où ces ressources ne sont pas utilisées.

- La bonne organisation de l'entrepôt dans son ensemble car une visibilité sur le planning d'enlèvement ou de livraison permet aux équipes de Préparation et de Réception de mieux s'organiser au niveau des zones avant chargement par exemple.
- La sécurité des marchandises et de l'entrepôt en contrôlant les véhicules et les personnes qui transportent la marchandise.
- L'évaluation de la performance des équipes en entrepôt et des prestataires transport.

### 2.9 Position du problème

La gestion des quais est fondamentale en entrepôt. Elle permet d'optimiser les processus de chargement et déchargement des camions afin de fluidifier les arrivées et départs de marchandises.

En entrepôt, la gestion des quais consiste à trouver la meilleure organisation pour réduire les temps d'attente des camions. Une mission primordiale en matière de respect des délais de livraison.

Plus l'occupation du quai est courte, moins les temps d'attente pour y accéder. Il faut donc à tout prix éviter qu'un camion soit bloqué sur un quai de chargement si l'on veut optimiser les délais de livraison.

Une bonne gestion des quais passe par une gestion de l'occupation des quais et une attribution des quais. Il est important de bien organiser la zone avant chargement/déchargement pour ne pas perdre de temps une fois le camion arrivé.

Une solution optimale de ce problème se représente par un plan de service de (chargement/déchargement) des camions entrants et des durées de séjour de longueurs minimales. Ce temps de séjours des camions dans la plateforme doit être minimal.

L'objectif est de chercher à atteindre une meilleure affectation des camions au poste à quai pour améliorer la qualité de service au niveau de la plateforme Numilog de Bouira afin de ne sanctionner ni le client ni l'entreprise.

Le problème rencontré pourrait alors être résolu par l'application des méthodes de la recherche opérationnelle.

## **Conclusion**

À travers ce chapitre on a décrit les processus clés de la PFL Bouira et les caractéristiques de la prestation de service logistique.

Le stage effectué à la PFL Bouira, nous a permis de comprendre toutes les étapes du process de la réception et d'expédition, ainsi il m'a permis d'identifier la problématique traiter dans ce mémoire qui est la gestion optimal des quais.

# Notions de base sur l'optimisation combinatoire

## Introduction

Les questions auxquelles s'intéresse la Recherche Opérationnelle peuvent être classées en différentes catégories, selon les caractéristiques des situations visées, des modèles proposés pour les représenter et des techniques de résolution utilisées. On peut par exemple évoquer les problèmes combinatoires, aléatoires ou concurrentiels. Les problèmes combinatoires apparaissent lorsque les réponses possibles sont trop nombreuses pour pouvoir être énumérées complètement.

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques discrètes et en informatique. Son importance se justifie d'une part par la grande difficulté des problèmes d'optimisation et d'autre part par de nombreuses applications pratiques pouvant être formulées sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire. Bien que les problèmes d'optimisation combinatoire soient souvent faciles à définir, ils sont généralement difficiles à résoudre. En effet, la plupart de ces problèmes appartiennent à la classe des problèmes NP-difficiles et ne possèdent donc pas à ce jour de solution algorithmique efficace valable pour toutes les données [5].

## 3.1 Optimisation combinatoire

La Combinatoire en mathématique est une branche dont le but est de dénombrer les dispositions que l'on peut former à l'aide des éléments d'un ensemble fini . La définition de l'optimisation combinatoire est liée directement par l'espace de recherche du problème . Le but de la résolution d'un tel problème est de chercher l'élément optimal à partir d'un ensemble fini dénombrable. Cet objet peut être un nombre entier, un sous-ensemble, ou une structure de graphe .

### 3.1.1 Démarche en Optimisation Combinatoire

L'optimisation suit les mêmes démarches de travail de la Recherche Opérationnelle . La figure 2.1 résume les différentes étapes pour résoudre un problème d'optimisation combinatoire.



FIGURE 3.1 – Démarche de résolution d'un problème d'optimisation

#### 3.1.1.1 Identification

Cette phase est cruciale et très importante au bon fonctionnement des étapes suivantes. A ce stade on tire les informations nécessaires à la modélisation du problème :

**Variables de décision :** Identification des variables du problème d'optimisation.

**Critère :** Définition d'une fonction objectif permettant d'évaluer l'état du système ainsi que le besoin de maximisation ou de minimisation (ex : rendement, performance, coût...).

**Contraintes :** Description des contraintes imposées aux variables de décision.

#### 3.1.1.2 Modélisation

Dans cette étape, on définit les équations nécessaires pour donner une description mathématique au problème. La modélisation peut être mathématique (linéaire et non linéaire), graphique (sous formes de graphes, arbres, graphes bipartis etc.).

On modélise un problème d'optimisation combinatoire en Programme Mathématique qui est défini comme suit :

$$\begin{aligned} & \text{maximiser } f(x) \\ & \text{s.c } \begin{cases} g_i(x) \leq 0 & i = 1, \dots, m \\ x \in X \end{cases} \end{aligned}$$

Où :

- $X \subset \mathbb{R}^n$  est l'espace de recherche et  $n$  est la dimension du problème.
- $x \in X$  est le vecteur de variables de décision.
- $f : X \rightarrow \mathbb{R}$  est la fonction objectif.
- $g_i : X \rightarrow \mathbb{R} \quad i = 1, \dots, m$  sont les  $m$  égalités et inégalités qui représentent les contraintes

du problème.[6]

Selon la nature de l'ensemble  $X$ , on définit les programmes mathématiques continus et discrets.

Si la fonction objectif  $f$  et les fonctions contraintes  $g$  sont toutes linéaires (les coefficients de variables sont constants et il n'a pas de produit de variables) : on parle de Programme linéaire.

### 3.1.1.3 Résolution

Il existent plusieurs approches de résolution de problèmes d'optimisation selon l'optimalité de la solution globale. Les deux classes essentielles sont les méthodes exactes et les méthodes approchées.

### 3.1.1.4 Implémentation

Une fois la solution établie (via une méthode de résolution) est validée, l'implémentation du système peut être concrétisée.

## 3.2 la complexité algorithmique

Généralement, le temps d'exécution est le facteur majeur qui détermine l'efficacité d'un algorithme, alors la complexité en temps d'un algorithme est le nombre d'instructions nécessaires (affectation, comparaison, opérations algébriques, lecture et écriture, etc.) que comprend cet algorithme pour une résolution d'un problème quelconque.

### 3.2.1 La classe NP

contient les problèmes de décision qui peuvent être décidés sur une machine non déterministe en temps polynomial. C'est la classe des problèmes qui admettent un algorithme polynomial capable de tester la validité d'une solution du problème. Intuitivement, les problèmes de cette classe sont les problèmes qui peuvent être résolus en énumérant l'ensemble de solutions possibles et en les testant à l'aide d'un algorithme polynomial.

### 3.2.2 La classe NP-complet

Parmi l'ensemble des problèmes appartenant à NP, il en existe un sous ensemble qui contient les problèmes les plus difficiles : on les appelle les problèmes NP-complets. Un problème NP-complet possède la propriété que tout problème dans NP peut être transformé (réduit) en celui-ci en temps polynomial, c'est à dire qu'un problème est NP-complet quand tous les problèmes appartenant à NP lui sont réductibles. Si on trouve un algorithme

polynomial pour un problème NP-complet, on trouve alors automatiquement une résolution polynomiale de tous les problèmes de la classe NP.

### 3.2.3 La classe NP-difficile

Un problème est NP-difficile s'il est plus difficile qu'un problème NP-complet, c'est à dire s'il existe un problème NP-complet se réduisant à ce problème par une réduction de Turing.[7]

## 3.3 Problème d'optimisation

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du l'optimum(minimum ou maximum)d'une fonction donnée, mathématiquement dans le cas d'une minimisation. Un problème d'optimisation se présentera sous la forme suivante :

$$(P) \begin{cases} \text{minimiser } f(s) & \text{(fonction à optimiser)} \\ \text{avec } g(s) \leq 0 & \text{(M contrainte d'inégalités )} \\ \text{et } h(s) = 0 & \text{(P contrainte d'égalités )} \\ s \in R^N \end{cases}$$

En d'autres termes, résoudre un problème d'optimisation  $p(s)$  revient à déterminer une solution  $s^* \in S$  minimisant ou maximisant la fonction  $f$  avec  $S$  l'ensemble des solution ou l'espace de recherche et  $f : S \rightarrow Y$  une application ou une fonction d'évaluation qui à chaque configuration  $s$  associe une valeur  $f(s) \in Y$ .

Il est possible de passer d'un problème de maxmisation à un problème de minimisation grace a la propriete suivante :

$$\max_{x \in S} f(x) = - \min_{x \in S} (-f(x))$$

Généralement ,une solution  $s \in S$  est un vecteur d'un espace à N dimensions.

### 3.3.1 Problème d'optimisation continue

Dans le cas de variable réelles, on a  $S \subseteq R^N$ .on parle alors de problème d'optimisation en variable continues.

Un problème d'optimisation continues (PO) peut être formulé de la façon suivant :

$$(PO) \min_{s \in S} f(s)$$

### 3.3.2 Problème d'optimisation combinatoire

Un problèmes d'optimisation combinatoire est un problème d'optimisation dans lequel l'espace de recherche  $S$  est dénombrable. Un problème d'optimisation combinatoire (POC) peut être formulé ainsi :

$$(POC) \min_{s \in Z^N} f(s)$$

Ou une solution  $s$  est un vecteur composé de  $N$  valeurs entières, soit  $S \subseteq Z^N$

La principale différence entre un problème d'optimisation continue et problème d'optimisation combinatoire repose sur l'utilisation de variables discrètes, Dans les deux catégories de problèmes, une solution  $s \in S$  est une instantiation des variables  $X_i \in X$ , ou  $i$  est l'indice de la variable, et  $X$  est le vecteur de dimensions  $N$  correspondant à la solution, et  $f(s)$  est son évaluation. Résoudre ces problèmes revient a trouver une solution optimale appelée aussi optimum global.

### 3.3.3 Optimum global

Une solution  $s^* \in S$  est un optimum global d'un problème d'optimisation s'il n'existe pas d'autres solutions de meilleure qualité. La solution  $s^* \in S$  est un optimum global[16]ssi :

$$\forall s \in S \begin{cases} f(s^*) \leq f(s) & \text{(dans le cas de minimisation)} \\ f(s^*) \geq f(s) & \text{(dans le cas de maximisation)} \end{cases}$$

La figure 2.2 schématise la courbe d'une fonction d'évaluation en faisant apparaitre l'optimum global dans le cas d'un problème de minimisation.

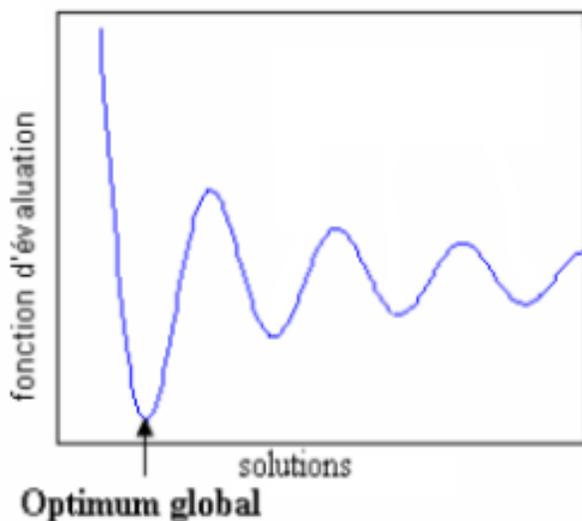


FIGURE 3.2 – Courbe d'une foction évaluation

### 3.4 Méthode de résolution

La principale difficulté à laquelle est confronté un décideur, en présence d'un problème d'optimisation, est celle du choix d'une méthode efficace capable de produire une solution optimale en un temps de calcul raisonnable.

Résoudre un problème revient à s'appuyer sur un grand nombre d'outils existants. Il convient certes de maîtriser ceux que vous utilisez, mais aussi savoir lequel choisir selon la problématique à traiter selon l'étape où vous vous situez. Car une fois encore, la pertinence est de mise.

Dans la littérature, on distingue essentiellement deux classes de méthodes : les méthodes exactes assurant la résolution des problèmes en un temps polynômial et les méthodes approchées ou heuristique, permettant de trouver une solution proche de l'optimale en un temps tolérable.[8]

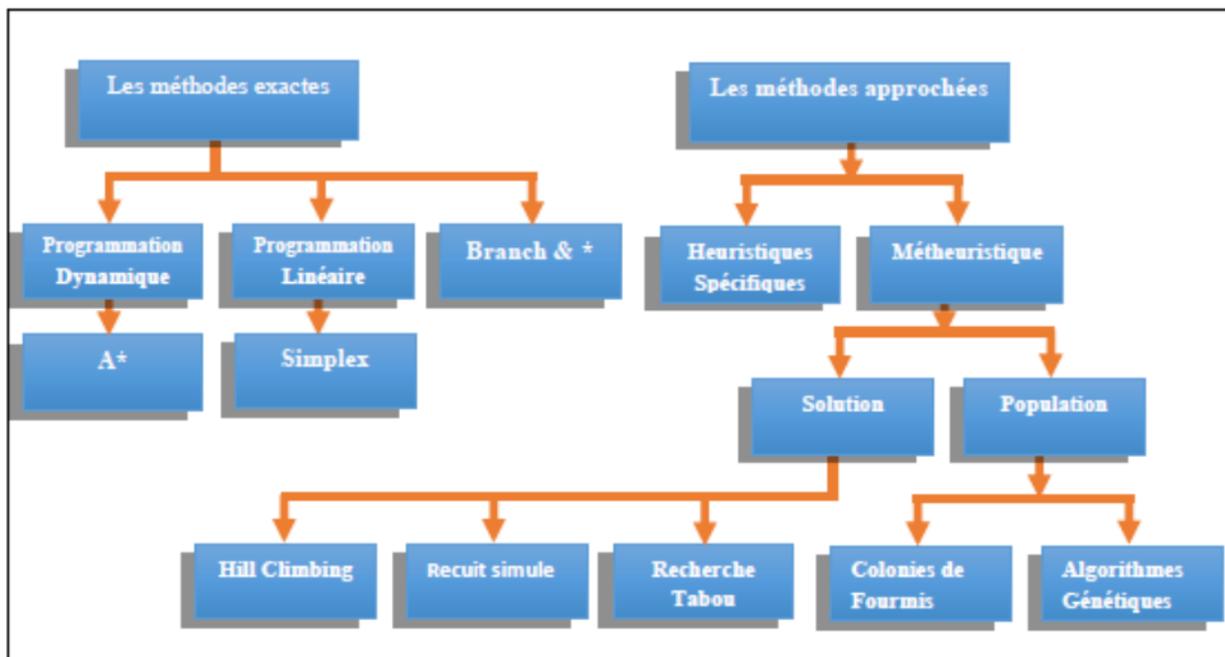


FIGURE 3.3 – Classification des méthodes d'optimisation combinatoire

### 3.4.1 Les méthodes exactes

Une méthode exacte est une approche qui permet de générer la solution optimale d'un problème. Son principe consiste généralement en une énumération exhaustive de l'ensemble de solutions possibles.[20]

De ce fait, il sera difficile, voir impossible, de trouver la solution optimale si la taille du problème devient grande. En plus, ces techniques sont très lentes et nécessitent une durée d'exécution très grande.

Donc ces méthodes sont généralement utilisées pour résoudre des problèmes de petite taille. Dans ce cas, le nombre de combinaisons possibles est suffisamment faible pour pouvoir explorer l'espace de solutions en un temps raisonnable.

Ces méthodes donnent une garantie de trouver la solution optimale pour une instance de taille finie dans un temps limité et de prouver son optimalité.

On distingue trois sous-classes de méthodes exactes, la procédure de séparation et d'évaluation (Branch and Bound) la programmation dynamique et la programmation linéaire (simplexe).

#### 3.4.1.1 La méthode séparation et évaluation (Branch and Bound)

Méthode (exacte) pour résoudre des programmes mathématiques( $P$ ), de la famille des méthodes de recherche arborescente.

La méthode de branch and bound (procédure par évaluation et séparation progressive) consiste à énumérer ces solutions d'une manière intelligente en ce sens que, en utilisant certaines propriétés du problème en question, cette technique arrive à éliminer des solutions partielles qui ne mènent pas à la solution que l'on recherche.

De ce fait, on arrive souvent à obtenir la solution recherchée en des temps raisonnables. Bien entendu, dans le pire cas, on retombe toujours sur l'élimination explicite de toutes les solutions du problème.

Le branch and bound est basé sur trois axes principaux :

- 1- La séparation
- 2- L'évaluation
- 3- La stratégie de parcours

### 1) La séparation :

La séparation consiste à diviser le problème en sous-problèmes. Ainsi, en résolvant tous les sous problèmes et en gardant la meilleure solution trouvée, on est assuré d'avoir résolu le problème initial. Cela revient à construire un arbre permettant d'énumérer toutes les solutions.

L'ensemble de noeuds de l'arbre qu'il reste encore à parcourir comme étant susceptibles de contenir une solution optimale, c'est-à-dire encore à diviser, est appelé ensemble des noeuds actifs.[9]

- **Principe de séparation :**

Soient  $X_r$  la solution optimale du programme linéaire relaxé ( $PR$ ) et  $X_i$  une variable de base non entier de  $X_r$  telles que :  $[X_i] < X_i < X_i + 1$

La séparation de ( $P$ ), selon la variable  $X_i$ , consiste à diviser ( $P$ ) en deux programme ( $P1$ ) et ( $P2$ ) avec :

$$(P1) = \begin{cases} (p) \\ \text{et} \\ X_i \leq [X_i] \end{cases}$$

$$(P2) = \begin{cases} (p) \\ \text{et} \\ X_i \geq [X_i] + 1 \end{cases}$$

Désignons par :

$R_0$  la région ne contenant pas de solutions entières.

$R_1$  la région des solutions réalisables ( $P1$ ).

$R_2$  la régions des solutions réalisables ( $P2$ ).

La séparation consiste à éliminer  $R_0$  et à chercher des solutions entières dans les régions  $R_1$  et  $R_2$ .

### 2) L'évaluation :

L'évaluation permet de réduire l'espace de recherche en éliminant quelques sous ensembles qui ne contiennent pas la solution optimale.

L'objectif est d'essayer d'évaluer l'intérêt de l'exploration d'un sous-ensemble de l'arborescence. Le branch and bound utilise une élimination de branches dans l'arborescence de recherche de la manière suivante : La recherche d'une solution de coût minimal, consiste à mémoriser la solution de plus bas coût rencontré pendant l'exploration, et à comparer le

coût de chaque noeud parcouru à celui de la meilleure solution.

Si le coût du noeud considéré est supérieur au meilleur coût, on arrête l'exploration de la branche et toutes les solutions de cette branche seront nécessairement de coût plus élevé que la meilleure solution déjà trouvée.[9]

- **Principe d'évaluation :**

On utilise en général des fonctions d'évaluation et des bornes. A l'étape  $k$ , on résout le problème relaxé  $(PRk)$  associé à  $(Pk)$ . pour ce faire deux cas se présentent :

-Cas où  $X_r^k$  la solution optimale est entière,  $Z(X_r^k)$  constitue une borne inférieure à tous les problèmes prédécesseurs au problème  $(Pr)$ , et en même temps un majorant à tous les problèmes successeurs au problème  $(Pk)$ .

-Cas où la solution optimale obtenue  $X_r^k$  n'est pas entière, on sépare à nouveau le problème  $(Pk)$ .

### 3) La stratégie de parcours :

- **La profondeur d'abord :** cette stratégie avantage les sommets les plus éloignés de la racine (de profondeur la plus élevée) en appliquant plus de séparations au problème initial. Cette voie mène rapidement à une solution optimale en économisant la mémoire.
- **Le meilleur d'abord :** cette stratégie consiste à explorer des sous problèmes possédant la meilleure borne. Elle permet aussi d'éviter l'exploration de tous les sous-problèmes qui possèdent une mauvaise évaluation par rapport à la valeur optimale.
- **La largeur d'abord :** cette stratégie favorise les sommets les plus proches de la racine en faisant moins de séparations du problème initial. Elle est moins efficace que les deux autres stratégies présentées.

#### 3.4.1.2 La programmation linéaire

La modélisation analytique d'un problème permet, non seulement de mettre en évidence l'objectif et les différentes contraintes du problème, mais également, parfois de le résoudre. L'idéal est d'obtenir un programme linéaire dont les variables sont réelles.

Dans ce cas, il existe des solveurs efficaces pour le résoudre. Dès que le problème comporte des variables entières ou le modèle n'est pas linéaire, il devient plus difficile à résoudre.

Néanmoins, il est parfois surprenant de voir qu'un problème particulier de taille intéressante peut être résolu par la programmation mathématique. Il est donc justifié de commencer à étudier un problème en proposant une ou plusieurs modélisations analytiques.

De plus, cette démarche à été simplifiée car il existe, actuellement, des langages de modélisation (comme MPL) permettant d'écrire les programmes linéaires de façon formelle, proche de l'écriture mathématique,[10]

Un programme linéaire est écrire sous la forme suivante :

$$(PL) = \begin{cases} \mathbf{min} & Z = cx \\ Ax \leq & b \\ x \geq & 0 \end{cases}$$

Si les variables sont entier,alors le programme est en nombre entier de dimension  $(m \times n)$  a la forme suivante :

$$(PLNE) = \begin{cases} \mathbf{min} & Z = cx \\ Ax \leq & b \\ x_j \in N & j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Où  $A$  est une matrice  $(m \times n)$ ,  $b$  un vecteur de dimension  $n$  et  $x$  est un vecteur inconnu. Dans le cas particulier, où les contraintes  $x_j \in N$  sont remplacées par  $x_j \in \{0, 1\}$ , on dit qu'on a un programme linéaire en 0, 1.

**Méthode du simplexe :**

L'idée de l'algorithme du simplexe est de passer de base réalisable initiale en base réalisable en améliorant à chaque fois la valeur objective du critère.

Comme le nombre de bases est fini, on obtient l'optimum ou la preuve que le programme est non borné en un nombre fini d'étapes.

On suppose que l'on connaît au départ une base réalisable  $B$ . L'algorithme du simplexe commence par réécrire le programme linéaire sous la forme équivalente :

$$\begin{cases} \mathbf{min}(\mathbf{max}) & C_B^T A_B^{-1} b + (C_N^T - C_B^T A_B^{-1} A_N) x_N \\ x_N + A_B^{-1} A_N x_N = & A_B^{-1} b \\ x \geq & 0 \end{cases}$$

L'avantage de cette forme, C'est qu'on peut directement lire la valeur de la solution basique réalisable associée à  $B$  : c'est le terme constant  $C_B^T A_B^{-1} b$  de la fonction objective. En effet, la solution basique réalisable associée à  $B$  est  $\bar{x}_B = A_B^{-1} b$  et  $\bar{x}_N = 0$ . Ensuite, l'algorithme cherche une base réalisable voisine  $B_0$  qui améliore le critère(c'est l'opération de pivot).

Il est en effet assez simple de construire une telle base  $B_0$  à partir de  $B_1$ , simplement à la lecture des entrées de  $C_N^T - C_B^T A_B^{-1} A_N$  et de  $A_B^{-1} A_N$  On sélectionne d'abord l'élément  $j \in B$  qui va entrer dans  $B_0$ (la variable entrante  $x_j$ ), à la lecture des coefficients de  $C_N^T - C_B^T A_B^{-1} A_N$  Ensuite,à la lecture des coefficients de la colonne correspondante de  $A_B^{-1} A_N$ , on trouve l'élément  $i$  qui va quitter  $B$  (la variable sortante  $x_i$ ).

Variable entrante : tout coefficient négatif de  $C_N^T - C_B^T A_B^{-1} A_N$  peut faire office de variable

entrante. Variable sortante : soit  $q$  la colonne de  $A_B^{-1}A_N$  correspondante à la variable entrante et soit  $P = A_B^{-1}b$  On regarde les coefficients strictement positifs de  $p$  et parmi ceux-là, on choisit la variable sortante  $x_i$  telle que  $P_i$  soit le plus petit possible.

### 3.4.1.3 La programmation dynamique

Introduite par Bellman dans les années 50 [17], La méthode de la programmation dynamique est une méthode générique pour les problèmes d'optimisation, et, en particulier, il a été prouvé que c'est un outil à la fois souple et puissant pour traiter les problèmes d'optimisation. Cette méthode consiste à décomposer le problème posé en sous-problèmes (ou phases), puis à établir une équation récursive exprimant la solution du sous-problème d'ordre  $k$  en fonction de celle du sous problème d'ordre  $(k - 1)$ . Ainsi, le dernier sous-problème serait d'ordre  $n$ , en l'occurrence, c'est le problème à résoudre.[18] Son cadre d'application est relativement restreint, dans la mesure où les problèmes qu'elle résout doivent vérifier le principe d'optimalité.

Toutefois elle impose un cadre assez spécifique et donc des contraintes sur les problèmes que l'on peut résoudre grâce à cette méthode. En règle générale, il s'agit d'un problème ( $P$ ) dont le but est d'optimiser une suite de prises de décisions par rapport au coût qu'elle engendrent. Cette suite doit être finie et sa longueur  $N$  connue par avance.

Le système mis en jeu dans ce problème est par conséquent qualifié de système dynamique à temps discret. De plus, la suite de prises de décisions correspond à un découpage du problème ( $P$ ) en sous problèmes  $P_n$  (avec  $n$  variant de 1 à  $N$ ).

A la  $n^{\text{ème}}$  étape, il s'agit de résoudre le problème ( $P_n$ ).

On cherchera enfin une relation de récurrence entre les sous problèmes ( $P_n$ ) de sorte à résoudre  $P = (P_1)$  de proche en proche[11].

L'optimisation dynamique constitue un domaine de recherche très important comme une partie significative des problèmes du monde réel qui sont des problèmes soumis à des environnements dynamiques et incertains, à savoir les applications de planification où de nouvelles tâches peuvent être insérées à tout moment comme dans les problèmes des tournées de véhicules où de nouveaux clients peuvent être insérés dans les routes, les problèmes de Bin packing où les dates d'arrivées et de départ des cubes sont souvent aléatoires, . . .

#### Les principales méthodes de résolution d'un problème dynamique :

L'optimisation dynamique est un domaine récent qui consiste à trouver la meilleure solution et la plus adaptée pour un environnement incertain et qui change au cours du temps. Les algorithmes de résolution se confrontent à une grande difficulté dans l'identification des Optimum dynamiques.

Ainsi, les algorithmes doivent trouver un équilibre entre l'exploitation et l'exploration de l'espace de recherche. Parmi les méthodes connues figurent :

- Monte-Carlo.
- Le Simplexe dynamique.
- Les heuristiques simples.
- Les heuristiques dynamiques.
- Les algorithmes évolutionnaires dynamiques.

### Formalisation du problème :

On s'intéresse à un système dynamique à temps discret, avec une fonction de coût additive dans le temps.

L'état du système étant représenté par :

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k, w_k), \quad k = 1, 2, \dots, N$$

Où :

- $k$  numérote les périodes (dont le nombre est fixé à  $N$ )
- $x_k$  décrit l'état du système au début de la période  $k$
- $u_k$  est la décision devant être prise à la période  $k$
- $w_k$  est la perturbation aléatoire de la période  $k$
- $f_k$  est la fonction de transfert (transition) entre les périodes  $k$  et  $k + 1$

### 3.4.2 Les méthodes approchées

La résolution d'un problème d'optimisation combinatoire, de taille comparable à ceux rencontrés dans la pratique, demande des tailles de mémoires et des temps de calcul trop importants. L'objectif n'est plus alors d'obtenir systématiquement l'optimum mais plutôt d'obtenir une solution proche de l'optimum ou de bonne qualité en un temps minimal. Ainsi, au lieu d'effectuer une recherche exhaustive, les méthodes approchées échantillonnent l'espace de recherche, n'en considèrent qu'une partie, et fournissent ainsi en un temps raisonnable, la meilleure configuration rencontrée. On distingue deux types de méthodes : les heuristiques et les méta-heuristiques.[8]

### 3.4.2.1 Les heuristiques

En optimisation combinatoire, une heuristique est un algorithme approché qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale. L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution exacte. Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre sans offrir aucune garantie quant à la qualité de la solution calculée.[12]

Les heuristiques peuvent être classées en deux catégories :

- 1- Méthodes constructives : qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.
- 2- Méthodes de fouilles locales : qui démarrent avec une solution initialement complète(probablement moins intéressante), et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.

### 3.4.2.2 Les méta-heuristiques

Face aux difficultés rencontrées par les heuristiques pour avoir une solution réalisable de bonne qualité pour des problèmes d'optimisation difficiles, les méta-heuristiques ont fait leur apparition. Ces algorithmes sont plus complets et complexes qu'une simple heuristique, et permettent généralement d'obtenir une solution de très bonne qualité pour des problèmes issus des domaines de la recherche opérationnelle ou de l'ingénierie dont on ne connaît pas de méthodes efficaces pour les traiter ou bien quand la résolution du problème nécessite un temps élevé ou une grande mémoire de stockage.

Le rapport entre le temps d'exécution et la qualité de la solution trouvée d'une méta-heuristique reste alors dans la majorité des cas très intéressant par rapport aux différents types d'approches de résolution. La plupart des méta-heuristiques utilisent des processus aléatoires et itératifs. Une méta-heuristique peut être adaptée pour différents types de problèmes, tandis qu'une heuristique est utilisée à un problème donné.

Plusieurs d'entre elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels dans de nombreux domaines tels que : la biologie (algorithmes évolutionnaires et génétiques)la physique(recuit simulé), et aussi l'éthologie (algorithmes de colonies de fourmis).Un des enjeux de la conception des méta-heuristiques est donc de faciliter le choix d'une méthode et le réglage des paramètres pour les adapter à un problème donné.

Les méta-heuristiques peuvent être classées de nombreuses façons. On peut distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution

sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire. Ces méthodes construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales.

- **Colonies de fourmis :**

Les algorithmes de colonies de fourmis s'inspirent du comportement des fourmis lors de la recherche d'un chemin entre leur colonie et une source de nourriture. La méthode ACO a été proposée par Dorigo (1992) et a été formulée comme nouvelle métaheuristique. Elle a d'abord été appliquée pour la résolution du problème de voyageur de commerce, mais elle a aussi été appliquée sur un large éventail de problèmes d'optimisation combinatoire et notamment les problèmes d'ordonnancement et d'équilibrage de ligne.

Les algorithmes ACO correspondent à une procédure de construction itérative, les solutions étant construites élément par élément. Les éléments d'une solution sont sélectionnés selon une probabilité basée sur l'évaluation heuristique.

Chaque fourmi construit une solution en suivant une probabilité lors de sélection, elle dépose ses phéromones selon la qualité de la solution générée. La mémoire collective des fourmis est utilisée pour faire apparaître les meilleures solutions (la piste de phéromones laissée par les fourmis est plus significative quand la solution est de meilleure qualité par rapport aux autres).

Un élément de la solution correspond à l'affectation d'une opération à une station. A chaque itération, nous calculons la probabilité d'affectation pour chaque combinaison possible (opération/station) selon la qualité des solutions générées. Cette procédure est répétée un grand nombre de fois (jusqu'à atteindre un critère d'arrêt). Suivant l'avancement de la procédure, les éléments qui correspondent aux meilleures solutions possèdent des pistes de phéromones plus importantes que les autres, ce qui permet à l'algorithme de converger vers les solutions de meilleure qualité[11].

- **Colonie d'abeilles :**

L'algorithme de colonie d'abeilles est un algorithme méta-heuristique qui est applicable à divers problèmes d'optimisation. Il est inventé par Pham et AL. Ces derniers sont inspirés par le comportement des abeilles naturelles quand elles recherchent des fleurs pour la préparation de miel[11].

- **Recuit simulé :**

La méthode du recuit simulé est une généralisation de la méthode Monte-Carlo, son but est de trouver une solution optimale pour un problème donné. Elle a été mise au point par trois chercheurs de la société IBM : S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt et

M.P. Vecchi en 1983[11].

- **Algorithme génétique :**

Les algorithmes génétiques appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte (ou que la solution est inconnue) pour le résoudre en un temps raisonnable. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle et l'appliquent à une population de solutions potentielles au problème donné. La solution est approchée par « bonds » successifs, comme dans une procédure de séparation et évaluation, à ceci près que ce sont des formules qui sont recherchées et non plus directement des valeurs.

### 3.4.3 Programmation par contraintes

La programmation par contraintes (PPC, ou CP pour Constraint Programming en anglais) est un paradigme de programmation apparu dans les années 1980 permettant de résoudre des problèmes combinatoires de grandes tailles tels que les problèmes de planification et d'ordonnancement. En programmation par contraintes, on sépare la partie modélisation à l'aide de problèmes de satisfaction de contraintes (ou CSP pour Constraint Satisfaction Problem), de la partie résolution dont la particularité réside dans l'utilisation active des contraintes du problème pour réduire la taille de l'espace des solutions à parcourir (on parle de propagation de contraintes)[21].

Dans le cadre de la programmation par contraintes, les problèmes sont modélisés à l'aide de variables de décision et de contraintes, où une contrainte est une relation entre une ou plusieurs variables qui limite les valeurs que peuvent prendre simultanément chacune des variables liées par la contrainte. Les algorithmes de recherche de solution, en PPC, s'appuient généralement sur la propagation de contraintes, pour réduire le nombre de solutions candidates à explorer, ainsi que sur une recherche systématique parmi les différentes affectations possibles de chacune des variables. De tels algorithmes garantissent de trouver une solution, quand elle existe, et permettent de prouver qu'il n'existe pas de solution à un problème s'ils n'ont pas trouvé de solution à la fin de la recherche exhaustive.

Un des premiers solveur de contraintes est ALICE écrit en 1976 par Jean-Louis Laurière.

Ça marche en trois phases :

- **Modélisation** : vous définissez votre problème dans un format spécifique.
- **Implémentation** : vous écrivez votre modèle dans un langage de modélisation.
- **Résolution** : vous utiliser un solveur PPC (compatible) pour trouver une solution.

Domaines d'application de PPC :

- Agencement
- Diagnostic et vérification
- Planification
- Ordonnancement et emplois du temps
- Emballage et placement
- Logistique
- ...etc

## 3.5 Quelques problèmes classiques d'optimisation combinatoire

Un problème d'optimisation combinatoire consiste à chercher une solution d'un ensemble de variables soumises à des contraintes de façon à maximiser ou minimiser un critère [19].

Je cite ici quelques problèmes classiques d'optimisation combinatoire :

### 3.5.1 Problème d'affectation

Le problème d'affectation consiste à établir des liens entre les éléments de deux ensembles distincts, de façon à minimiser un coût et en respectant des contraintes d'unicité de lien pour chaque élément.

On considère  $m$  tâches et  $n$  agents, avec  $n \geq m$ . Pour tout couple  $(i, j)$  ( $i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$ ), l'affectation de la tâche  $i$  à l'agent  $j$  entraîne un coût de réalisation noté  $c_{ij}$  ( $c_{ij} \geq 0$ ). Chaque tâche doit être réalisée exactement une fois et chaque agent peut réaliser au plus une tâche. Le problème consiste à affecter les tâches aux agents, de façon à minimiser le coût total de réalisation et en respectant les contraintes de réalisation des tâches et de disponibilité des agents.[15]

On peut modéliser le problème d'affectation sous la forme :

Variable de décision :

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si la tâche } i \text{ est affecté à l'agent } j. \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

Le modèle :

$$\begin{aligned} & \text{minimiser} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{s.c} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, & \forall i = 1, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, & \forall j = 1, \dots, n \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, & \forall i = 1, \dots, m \quad \forall j = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

### 3.5.2 Problème de sac à dos

Considérons un ensemble d'objets indexés par  $I = 1, 2, \dots, n$  ayant chacun un poids  $p_i$  et une utilité  $u_i$ , et considérons un sac de contenance  $W$ . Le but est de ranger les objets sans exéder la capacité du sac, tout en maximisant l'utilité totale des objets rangés [13]. Le modèle s'écrit :

$$\begin{aligned} & \text{max} \quad \sum_{i=1}^n u_i x_i \\ & \begin{cases} \sum_{i=1}^n p_i x_i \leq W \\ x_i \in \{0, 1\}, i \in I \end{cases} \end{aligned}$$

Où :

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{si l'objet } i \text{ est rangé dans le sac} \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

### 3.5.3 problème d'allocation des postes à quai (Berth Allocation Problem)

Le problème d'attribution des postes d'amarrage (également connu sous le nom de problème d'ordonnancement des postes d'amarrage) est un problème NP-complet en recherche opérationnelle, concernant l'attribution d'espaces d'amarrage pour les navires dans les terminaux à conteneurs. Les navires arrivent au fil du temps et l'opérateur du terminal doit les affecter à des postes à quai afin d'être desservis (chargement et déchargement des conteneurs) dans les meilleurs délais. Différents facteurs affectent le poste à quai et l'affectation du temps de chaque navire.

Les opérateurs portuaires sont intéressés à conserver des niveaux de service satisfaisants pour tous les clients, puisque cela est habituellement une mesure de négociation des ententes contractuelles à venir avec de nouveaux clients. Enfin, l'une des principales préoccupations des opérateurs portuaires est la minimisation du coût associé aux opérations de manutention des navires et du temps de séjour des navires dans le port [14].

**Indices :**

- $B = \{1, \dots, I\}$  : ensemble des postes à quai.
- $V = \{1, \dots, J\}$  : ensemble des Navires entrants.

**Paramètres :**

- $C_{ij}$  : Le temps de traitement du navire  $j$  sur le poste à quai  $i$ .
- $L_j$  : La longueur de navire  $j$ .
- $L_i^*$  : La longueur de quai  $i$ .
- $T_j$  : Le tirant d'eau de navire  $j$ .
- $T_i^*$  : La profondeur d'eau du poste à quai  $i$ .
- $S_i$  : Le moment où le poste à quai  $i$  devient libre, pour la planification d'allocation des postes à quai.
- $A_j$  : Le temps d'arrivée de navire  $j$ .

**Variable de décision :**

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{Si le navire } j \text{ est affecté au poste à quai } i \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

**Le modèle :**

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} ((S_i - A_j) + C_{ij}) X_{ij} \\ S.C \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in B} X_{ij} = 1, \quad , \forall j = 1, \dots, J \\ \sum_{j \in V} X_{ij} = 1, \quad , \forall i = 1, \dots, I \\ S_i \geq A_j X_{ij}, \forall i = 1, \dots, I \quad , \forall j = 1, \dots, J \\ (L_i^* - L_j) X_{ij} \geq 0, \forall i = 1, \dots, I \quad , \forall j = 1, \dots, J \\ (T_i^* - T_j) X_{ij} \geq 0, \forall i = 1, \dots, I \quad , \forall j = 1, \dots, J \\ X_{ij} \in \{0, 1\} \end{array} \right. \end{aligned}$$

## Conclusion

Dans ce chapitre , dans un premier temps on a défini les notions de base sur les problème d'optimisation combinatoire, après avoir rappilé certaines méthodes de résolution exacte ,heuristique qui permettant de résoudre un problème d'optimisation combinatoire, enfin on a donné quelques problèmes classique d'optimisation combinatoire.

le choix de la méthode de résolution à mettre en oeuvre dépendra souvent de la complexité du problème. Si le problème est de petite taille, alors un algorithme exact permettant de trouver la solution optimal peut être utilisé.

Malheureusement, ces algorithmes par nature énumératifs, souffrent de l'explosion combinatoire et ne peuvent s'appliquer à des problèmes de grandes tailles. Dans ce cas, il est nécessaire de faire appel à des meta-heuristiques permettant de trouver de bonnes solutions approchées. Donc pour résoudre un problème on doit choisir les méthodes adéquates qui peuvent être adapté au type du problème.

Dans le chapitre suivant, on va proposer un modèle mathématique qui modélise le problème d'affectation des camions à des postes à quais de sorte à minimiser le temps de séjour des camions dans la plateforme.

# Chapitre 4

## Modélisation du problème

### Introduction

Les entreprises du transport et de la logistiques sont intéressés à conserver des niveaux de service satisfaisants pour tous les clients, puisque cela est habituellement une mesure de négociation des ententes contractuelles à venir avec de nouveaux clients. L'une des principales préoccupations de ces entreprises est la minimisation du coût associé aux opérations de manutention des camions et du temps de séjour des camions dans la plateforme.

La modélisation d'un problème donné est une étape qui consiste à extraire une image aussi fidèle que possible du système. Cette image peut prendre plusieurs formes : mathématique comme en programmation linéaire, statistique comme dans un modèle statistique et sous forme d'un graphe comme en théorie des graphes, ou alors sous forme virtuelle comme en simulation.

Dans le présent chapitre, nous adoptons une modélisation mathématique pour construire le modèle.

### 4.1 Description du problème

le problème qu'on traite ici un problème d'affectation optimale des camions aux postes à quai dans une plateforme logistique. On cherche à minimiser le temps d'immobilisation des camions et aussi le temps de préparation des commandes pour le chargement et la mise en stock après un déchargement, en prenant en considération les paramètres suivant :

- le temps de transport d'une palette entre le quai et la zone de stockage.
- la capacité de la zone de stockage.

- l'espace inoccupé(non alloué).

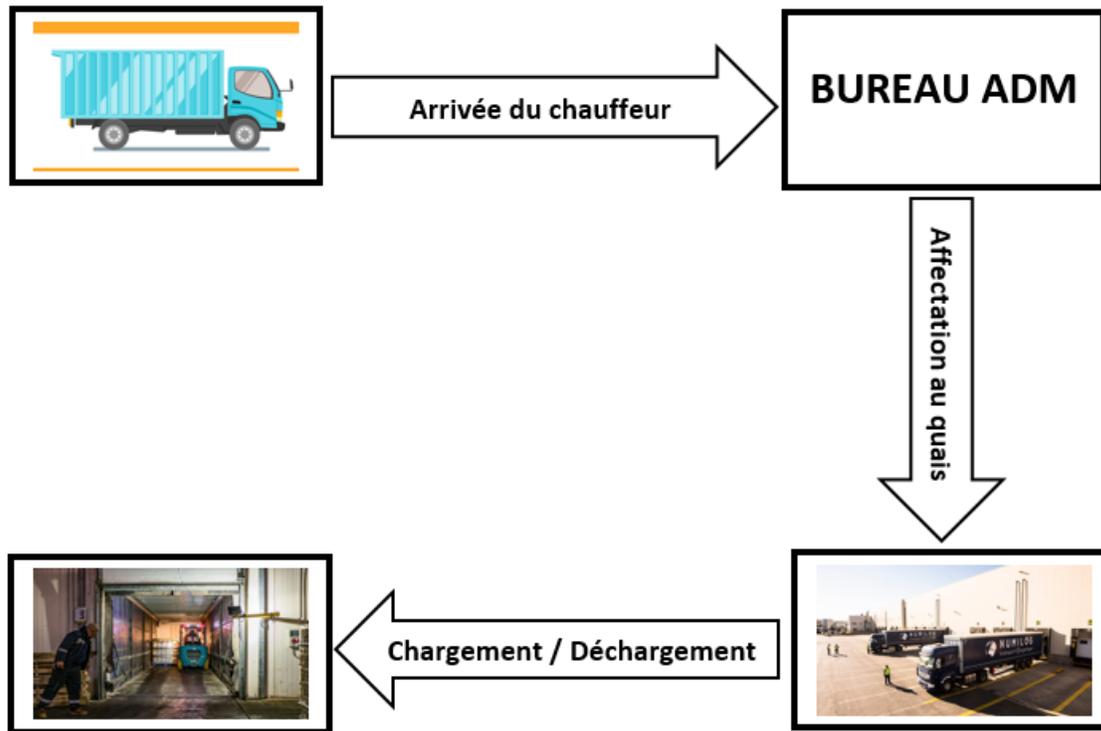


FIGURE 4.1 – Affectation des camions

## 4.2 Principe et but

Le modèle mathématique cherche à planifier de façon optimale l'affectation des camions entrants sur les quais en optimisant leurs temps de séjour.

Pour atteindre cet objectif on propose une modélisation qui sert à minimiser le temps de manutention (chargement /déchargement) d'un camion.

Le but est d'augmenter le rendement en réduisant le temps d'occupation des quais.

### 4.3 Hypothèses considérées

- Le processus de planification est considéré statique(tous les camions sont à la plateforme avant le début de plan de la planification).
- Chaque poste à quai ne peut accueillir qu'un seul camion à la fois.
- Chaque camion doit être affecté au plus a un seul poste à quai.
- Le temps de manutention du camion dépend du nombre des palettes transportés aux différentes zones de stockage.
- On sait à l'avance le nombre de palettes demandées par chaque zone de stockage.
- Les équipements de manutention sont suffisantes.
- la plateforme est en service h24, donc elle peut accueillir les camions à n'importe quelle heure.
- Une fois qu'un camion est affecté sur un poste à quai, il doit rester sur ce poste jusqu'à la fin de la manutention de service.
- Un camion ne peut pas faire un déchargement et un chargement à la fois.

#### 4.3.1 Collecte de donnée

Durant notre stage à la plateforme logistique de Bouira, on a pu collecter les données suivantes :

- Le temps de chargement/déchargement d'un camion prend en moyenne 30 min.
- La préparation de commande pour le chargement : 24 palettes / heure.
- La mise en stock après un déchargement : 24 palettes / heure.
- Un camion plein comporte 34 palettes.
- La plate-forme de Bouira est équipée de 92 quais.
- La pfl de Bouira dispose 15 cellules(15 zones de stockage).

## CHAPITRE 4. MODÉLISATION DU PROBLÈME

Numilog ne dispose pas de données concernant la durée de traitement d'une palette entre le poste à quai et la zone de stockage (pour résoudre notre modèle on a essayé d'utiliser des données proche de la réalité de l'entreprise, c'est à dire des valeurs approximatives).

Pour les données concernant le temps de séjour et le temps d'attente, on a récupéré un fichier excel qui contient les temps d'immobilisation.

Chauffeu	Immatricula	Arrivée le	A	Pass. Qu	Départ le	A	RDV le	A	immo
BEN ALIOUA A	0003551118	1/8/2021	00:30	01:15	1/8/2021	02:40	1/8/2021	02:00	02:10:00
YAHIAOUI FER	0331459106	1/8/2021	00:35	02:10	1/8/2021	02:40	1/8/2021	03:00	02:05:00
NOUIOUA ACH	0857950534	1/8/2021	04:28	05:30	1/8/2021	06:19	1/8/2021	04:00	01:51:00
KASSA MENAO	0144051316	1/8/2021	06:45	06:50	1/8/2021	08:07	0/0/00	00:00	01:22:00
KERBOUB ABD	123051416	1/8/2021	00:00	00:45	1/8/2021	02:08	0/0/00	00:00	02:08:00
BELAILI YUGOF	0516651015	1/8/2021	00:10	02:00	1/8/2021	03:30	1/8/2021	15:00	03:20:00
DJEDDI LAYAC	1081550206	1/8/2021	00:15	02:40	1/8/2021	03:25	1/8/2021	00:00	03:10:00
BENAZOUZ LY	46151306	1/8/2021	00:20	02:57	1/8/2021	04:20	1/8/2021	00:00	04:00:00
SADAOUI SMAI	001436	1/8/2021	15:20	15:20	1/8/2021	16:40	0/0/00	00:00	01:20:00
FERRAH MOUF	1313851210	1/8/2021	15:14	17:00	1/8/2021	17:30	0/0/00	00:00	02:16:00
LEMOUEDAA T	0004050343	1/8/2021	15:53	16:20	1/8/2021	17:33	1/8/2021	17:00	01:40:00
BOUKHEDOUN	1472	1/8/2021	17:09	17:50	1/8/2021	19:15	0/0/00	00:00	02:06:00
MOUMOU HAC	001405	1/8/2021	17:19	18:00	1/8/2021	19:12	0/0/00	00:00	01:53:00
ALI MOHAD SA	VN000329	1/8/2021	17:25	18:30	1/8/2021	19:12	0/0/00	00:00	01:47:00
FEDILA MHANA	0852659006	1/8/2021	17:46	18:00	1/8/2021	18:47	1/8/2021	17:00	01:01:00
FAKHOUR LYE	0597651015	1/8/2021	18:40	18:55	1/8/2021	20:00	1/8/2021	17:00	01:20:00
MEZINE MUST	0200759310	1/8/2021	18:43	19:00	1/8/2021	20:46	0/0/00	00:00	02:03:00
KARA HAMID	00322	1/8/2021	18:51	20:30	1/8/2021	21:05	0/0/00	00:00	02:14:00
NEKAA DRAI	001154	1/8/2021	19:28	20:10	1/8/2021	21:05	0/0/00	00:00	01:37:00
BELHAMRI MEI	0168858818	1/8/2021	19:31	21:11	1/8/2021	22:13	0/0/00	00:00	02:42:00
LAIDALI HAFID	1197	1/8/2021	19:36	20:45	1/8/2021	22:12	0/0/00	00:00	02:36:00
BECHAR YOUC	0777651106	31/7/2021	20:32	00:20	1/8/2021	01:00	31/7/2021	03:00	04:28:00

FIGURE 4.2 – Temps d'immobilisation

## 4.4 Construction de modèle

### Indices

- $i$  : numéro du poste à quai.
- $j$  : numéro du camion.
- $n$  : numéro de la zone de stockage.

### Ensembles

- $Q = \{1, \dots, I\}$  : ensemble des postes à quai.
- $K = \{1, \dots, J\}$  : ensemble des camions entrants.
- $Z = \{1, \dots, N\}$  : ensemble des zones de stockage de la plateforme.

### Données et Paramètres

- $C_n$  : Capacité maximale de la zone  $n$  (stock initiale).
- $D_n$  : Disponibilité d'espace vide (en palettes) dans la zone  $n$  avant le début de la planification.
- $P_j^d$  : Le nombre totale de palettes déchargés par le camion  $j$ .
- $P_j^c$  : Le nombre totale de palettes chargés par le camion  $j$ .
- $P_{jn}^d$  : Le nombre de palettes associés au camion  $j$ , qui veut être déchargés dans la zone  $n$ .
- $P_{nj}^c$  : Le nombre de palettes associés a la zone  $n$ , qui veut être chargés dans le camion  $j$ .

- $T_{in}^p$  : La durée de traitement d'une palette entre le poste à quai  $i$  et la zone  $n$ .
- $S_{ij}$  : temps de séjour du camion  $j$  sur le poste à quai  $i$ .
- $A_{ij}$  : temps d'attente du camion  $j$  avant l'affectation au poste à quai  $i$ . Il est calculée en faisant la différence entre le temps d'arriver du camion  $j$  et le moment où le poste à quai  $i$  devient libre.

### Variables de décision

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } j \text{ est affecté au poste à quai } i. \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

### Les contraintes

- Chaque quai  $i$  est occupé au plus par un seul camion  $j$  :

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, I$$

- Chaque camion  $j$  peut être affecté à au plus un poste à quai  $i$  :

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \leq 1, \quad \forall j = 1, \dots, J$$

- pour assurer qu'on a les affectations nécessaires :

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \in K} X_{ij} = \min(I, J)$$

- La somme des palettes affectés dans des zones différentes  $n$  à partir d'un camion  $j$  soit égal au nombre de palettes déchargés de ce camion  $j$  :

$$\sum_{n \in Z} P_{jn}^d X_{ij} = P_j^d, \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall j = 1, \dots, J$$

- Le nombre de palettes chargés dans le camion  $j$  égal à la somme des palettes provenant de différentes zones  $n$  :

$$\sum_{n \in Z} P_{jn}^c X_{ij} = P_j^c, \forall i = 1, \dots, I, \forall j = 1, \dots, J$$

- Le nombre de palettes décharger vers la même zone  $n$  ne dépasse pas la disponibilité d'espace de la zone  $n$  :

$$\sum_{j \in K} P_{jn}^d X_{ij} \leq D_n + \sum_{j \in K} P_{jn}^c, \forall i = 1, \dots, I, \forall n = 1, \dots, N$$

avec  $(D_n + \sum_{j \in K} P_{jn}^c) \iff$  l'espace restant après les chargements de la zone  $n$  vers divers camions  $j \in K$ .

- Le nombre de palettes charger de la zone  $n$  vers divers camions il faut pas qu'elle dépasse le stock initiale disponible de cette zone :

$$\sum_{j \in K} P_{jn}^c X_{ij} \leq C_n, \forall i = 1, \dots, I, \forall n = 1, \dots, N$$

- Les camions doivent arriver avant le début du plan de planification :

$$A_{ij} X_{ij} \geq 0, \forall i = 1, \dots, I, \forall j = 1, \dots, J$$

- Les valeurs que prene la variable de décision :

$$X_{ij} \in \{0, 1\}$$

### L'objectif

La fonction objectif est une fonction mono-objectif qui minimise le temp de manutention (chargement/déchargement)d'un camion.

- le temps de manutention du camion  $j$  au niveau de quai  $i$  est donné par l'expression :

$$(A_{ij} + S_{ij})X_{ij}$$

- le temps total de sejour des camions  $j \in K$  affectés sur le poste à quai  $i$  est :

$$\sum_{j=1}^J A_{ij}X_{ij} + \sum_{j=1}^J S_{ij}X_{ij}$$

- le temps de transport de l'ensemble des palettes (chargés /déchargés) par les camions  $j \in K$  affecter au quai  $i$  :

$$\sum_{j \in K} \sum_{n \in Z} (P_{jn}^c T_{in}^p + P_{jn}^d T_{in}^p)X_{ij}$$

- le temps de transport de palettes(chargés /déchargés)par le camion  $j$  sur le poste à quai  $i$  :

$$\sum_{n \in Z} (P_{jn}^c T_{in}^p + P_{jn}^d T_{in}^p)X_{ij}$$

alors la fonction objectif du problème s'écrit :

$$\min \sum_{i \in Q} \sum_{j \in K} \sum_{n \in Z} (A_{ij} + S_{ij} + (P_{jn}^c T_{in}^p + P_{jn}^d T_{in}^p))X_{ij}$$

## 4.5 Le modèle

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{i \in Q} \sum_{j \in K} \sum_{n \in Z} (A_{ij} + S_{ij} + (P_{jn}^c T_{in}^p + P_{jn}^d T_{in}^p)) X_{ij} \\
 S.C \left\{ \begin{array}{l}
 \sum_{j \in K} X_{ij} \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, I \\
 \sum_{i \in Q} X_{ij} \leq 1, \quad \forall j = 1, \dots, J \\
 \sum_{i \in Q} \sum_{j \in K} X_{ij} = \min(I, J) \\
 \sum_{n \in Z} P_{jn}^d X_{ij} = P_j^d, \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall j = 1, \dots, J \\
 \sum_{n \in Z} P_{jn}^c X_{ij} = P_j^c, \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall j = 1, \dots, J \\
 \sum_{j \in K} P_{jn}^d X_{ij} \leq D_n + \sum_{j \in K} P_{jn}^c, \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall n = 1, \dots, N \\
 \sum_{j \in K} P_{jn}^c X_{ij} \leq C_n, \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall n = 1, \dots, N \\
 A_{ij} X_{ij} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall j = 1, \dots, J \\
 X_{ij} \in \{0, 1\} \\
 i = \{1, \dots, I\} \\
 j = \{1, \dots, J\} \\
 n = \{1, \dots, N\}
 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

## 4.6 Exemple

Pour illustrer notre modèle on propose un exemple avec les données suivantes :

- Un nombre de camions,  $J = 3$
- Un nombre des postes à quais,  $I = 2$
- Un nombre des zones de stockage,  $N = 2$
- la capacité de la zone  $n$  (stock initiale) :

$$C_n = \begin{bmatrix} 300 & 450 \end{bmatrix}$$

- l'espace inoccupé(non alloué) de la zone  $n$  :

$$D_n = \begin{bmatrix} 150 & 100 \end{bmatrix}$$

- La durée de traitement d'une palette entre le poste à quai  $i$  et la zone  $n$  :

$$T_{in}^p = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.05 \\ 0.05 & 0.02 \end{bmatrix}$$

- Le nombre totale de palettes déchargés par le camion  $j$  :

$$P_j^d = \begin{bmatrix} 30 & 00 & 00 \end{bmatrix}$$

- Le nombre totale de palettes chargés par le camion  $j$  :

$$P_j^c = \begin{bmatrix} 00 & 20 & 30 \end{bmatrix}$$

- Le nombre de palettes associés au camion  $j$ , qui veut être déchargés dans la zone  $n$  :

$$P_{jn}^d = \begin{bmatrix} 20 & 10 \\ 00 & 00 \\ 00 & 00 \end{bmatrix}$$

- Le nombre de palettes associés a la zone  $n$ , qui veut être chargés dans le camion  $j$  :

$$P_{nj}^c = \begin{bmatrix} 00 & 00 \\ 10 & 10 \\ 15 & 15 \end{bmatrix}$$

- Temps de séjour du camion  $j$  sur le poste à quai  $i$  :

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.50 & 0.57 \\ 0.53 & 0.50 & 0.57 \end{bmatrix}$$

- Temps d'attente du camion  $j$  avant l'affectation au poste à quai  $i$  :

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0.50 & 2.16 \\ 0.75 & 0.25 & 1.91 \end{bmatrix}$$

Après la résolution du problème on obtient l'affectation présenté dans la matrice suivante :

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Et la fonction objectif = 3.88 heures

## Conclusion

Ce chapitre à été consacré à l'élaboration d'un modèle pour minimiser le temp totale parcourue dans les deux opération de chargement et de déchargement.

# Chapitre 5

## Implémentation de notre modèle

### Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons modélisés notre problème par un modèle qui est un programme linéaire en nombre entier. Pour cela, dans ce chapitre nous avons choisi le CPLEX pour faire la résolution de ce modèle.

### 5.1 Outils et logiciels d'optimisation

Pour des systèmes trop complexes et pour qu'un humain puisse les résoudre en prenant tout en compte (nombre de variables, Nombre de contraintes, ...,etc), la taille des problèmes réels est très grande, capacité d'accéder à des volumes de données énormes (bases de données, réseau informatique,....etc), et accès à de grosses capacités de calcul (Calcul parallèle, calcul, distribué, ...,etc). Pour accéder efficacement à ces ressources nous utilisons des outils d'aide à la décision, beaucoup de ces outils sont des logiciels d'optimisation[23].

#### 5.1.1 Solveur

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

Pour faire simple, on peut dire qu'il s'agit d'un outil de calcul très puissant qui permet de résoudre de manière optimale – ou non – les systèmes d'équations et inéquations complexes qu'on lui soumet.

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

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

### 5.1.2 Les langages de modélisation

Un langage de modélisation est un langage artificiel qui peut être utilisé pour exprimer de l'information ou de la connaissance ou des systèmes dans une structure qui est définie par un ensemble cohérent de règles.

Les règles sont utilisées pour l'interprétation de la signification des composants dans la structure.

Les langages de modélisation permettent de définir les modèles mathématiques dans un langage compréhensible par le solveur en suivant une syntaxe et un vocabulaire.

Il existe plusieurs langages de modélisation, Voici quelques exemples :

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

#### 5.1.2.1 Le langage OPL (Optimization Programming Language)

Il s'agit d'un langage de modélisation qui permet d'écrire facilement des programmes linéaires (ou quadratiques) grâce à une syntaxe proche de la formulation mathématique. Par ailleurs OPL offre à l'utilisateur la possibilité de séparer le modèle des données, de ce fait un même modèle peut être facilement testé avec différents jeux de données.[24]

OPL signifie Optimization Programming Language. Il s'agit d'un langage informatique permettant de spécifier des problèmes d'optimisation, qui peuvent être ensuite passés à un solveur pour résolution. Le fait qu'OPL soit un langage de modélisation implique qu'il n'a pas vocation à être exécuté (comme du C, du Java ou du Python par exemple). En revanche, il permet d'écrire des problèmes d'optimisation dans une syntaxe abstraite que les solveurs peuvent exploiter.

## 5.2 CPLEX

CPLEX a été initialement développé par l'équipe de Robert Bixby pour disposer d'un solveur performant pour résoudre des instances du problème de voyageur de commerce de grande taille. Jusqu'à la version 6.0, il a été commercialisé par la société CPLEX. En 1996, cette société a été rachetée par ILOG pour étoffer son éventail de produits destinés à l'Aide à la Décision.

CPLEX est un outil informatique d'optimisation commercialisé par IBM depuis son acquisition de l'entreprise française ILOG en 2009. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe. Il est composé d'un exécutable (CPLEX interactif) et d'une bibliothèque de fonctions pouvant s'interfacer avec différents langages de programmation : C, C++, C#, Java et Python.

### 5.2.1 Les composants du CPLEX

On peut utiliser CPLEX sous différentes manières :

- Mode interactif.
- Cplex Callable Library (bibliothèque en langage C) : utilise les matrices pour représenter un problème.
- Ilog Concert Technology : utilise les objets et les méthodes pour représenter un problème avec les langages de programmation C++, Java...
- Avec un langage de modélisation comme OPL, MPL , AMPL [24]

Les composants de la suite d'optimisation ILOG sont illustrés dans la Figure suivante :

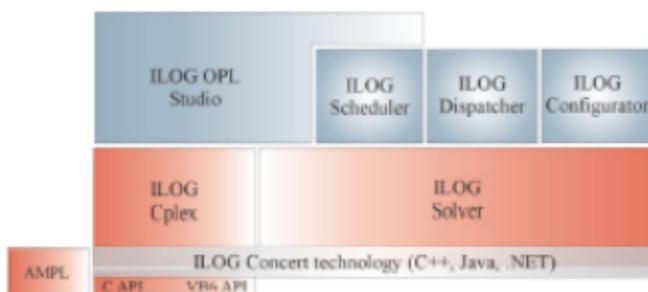


FIGURE 5.1 – ILOG Optimization Suite

**ILOG CPLEX** : Le coeur du système résout des problèmes de programmation mathématique.

**ILOG Solver** : La partie principale du système résout des applications en utilisant la programmation par contraintes.

**ILOG concert technology** : Les bibliothèques contiennent les fonctionnalités du système. Elles sont disponibles pour les langages C++, Java et .NET.

**ILOG Scheduler** : Fournit des extensions pour résoudre des problèmes de planification.

**ILOG Dispatcher** : Fournit des extensions pour la résolution de problèmes de tournées de véhicules.

**ILOG Configurator** : Ce module contient des utilitaires pour l'optimisation des ventes en ligne (problèmes de e-commerce).

**ILOG OPL Studio** : OPL est un langage pour la modélisation des problèmes d'optimisation. Il interagit directement avec les modules ILOG Cplex, ILOG Solver et ILOG Dispatcher.

### 5.3 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio fournit des solveurs de programmation mathématique flexibles et hautes performances pour les problèmes de programmation linéaire, de programmation mixte en nombres entiers, de programmation par contraintes et de programmation à contraintes quadratiques. Ces solveurs incluent un algorithme parallèle distribué pour la programmation mixte en nombres entiers afin de tirer parti de plusieurs ordinateurs pour résoudre des problèmes difficiles.

La technologie de programmation mathématique de IBM ILOG CPLEX Optimization Studio permet une optimisation des décisions pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts et augmenter la rentabilité.

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio regroupe un ensemble d'outils pour la programmation mathématique et la programmation par contraintes. Il associe :

- un environnement de développement intégré (Integrated Development Environment - IDE) nommé Cplex Studio IDE (sous Windows) ou oplide (sous Linux)[25].

- un langage de modélisation : le langage OPL (Optimization Programming Language).
- deux solveurs : IBM ILOG CPLEX pour la programmation mathématique (résolution de programmes linéaires en nombres fractionnaires, mixtes ou entiers et de programmes quadratiques) et IBM ILOG CP Optimizer pour la programmation par contraintes.

On notera qu'il ne permet pas d'exprimer de problèmes de programmation non-linéaire. Pour résoudre les problèmes de programmation mathématique (PL et PLNE), CPLEX Studio fait appel au solveur linéaire CPLEX.

### 5.3.1 Le langage utilisé dans IBM ILOG CPLEX Studio

Le langage utilisé dans Cplex Studio IDE est OPL (Optimization Programming Language). OPL fonctionne par projets : pour résoudre un modèle l'utilisateur doit créer un projet OPL dans Cplex Studio IDE qui doit contenir au minimum un fichier "modèle" et un fichier de "configuration d'exécution". En effet chaque projet est constitué de plusieurs types de fichiers :

- un fichier modèle (.mod) qui contient le modèle à résoudre
- un fichier de données (facultatif) qui contient les données pour un modèle
- un fichier de paramètres (.ops) (facultatif) qui permet de paramétrer le solveur CPLEX
- un fichier de configuration d'exécution (.oplproject) qui indique à l'IDE ce qu'il doit faire quand l'utilisateur demande l'exécution du projet. C'est à dire quel est le modèle à résoudre et quels sont les paramètres et les données (s'il y en a).

#### **Le fichier projet :**

Le fichier (.project) permet d'afficher la racine d'un projet dans CPLEX Studio.

#### **Les fichiers modèle :**

Les fichiers modèle (.mod) sont le cœur d'OPL. C'est dans un fichier modèle qu'on indique les constantes, les variables de décision, les contraintes et la fonction objectif d'un problème d'optimisation.

#### **Les fichiers de données :**

Lorsqu'on définit un problème d'optimisation dans un fichier modèle, il est souvent préférable de déclarer les constantes du problème mais de ne pas en préciser la valeur en utilisant le symbole ' . . . ' Ce symbole indique que la valeur de ces constantes sera fournie dans un fichier de données.

Les fichiers des données permettent également de connecter les entrées et les sorties de l'opération d'optimisation à des sources externes de données (feuilles Excel ou bases de

données SQL par exemple).

### **Les fichiers de paramètres :**

Ces fichiers (.ops) permettent de paramétrer le solveur d'optimisation (ou de contraintes). Ils permettent notamment de gérer la stratégie de parcours de la recherche arborescente en PLNE, les heuristiques utilisées, les méthodes de construction de coupes, etc...

### **Les fichiers de configuration d'exécution :**

Un fichier de configuration d'exécution indique précisément « ce qu'il faut faire » dans une exécution donnée d'un solveur. Il précise donc quel modèle utiliser, avec quel fichier de données (si nécessaire) et quel jeu de paramètres (si nécessaire).

### **Les fichiers de configuration d'exécution :**

Un fichier de configuration d'exécution indique précisément "ce qu'il faut faire" dans une exécution donnée d'un solveur. Il précise donc quel modèle utiliser, avec quel fichier de données (si nécessaire) et quel jeu de paramètres (si nécessaire).

Une fois un problème spécifié grâce aux fichiers présentés ci-dessus, il est possible d'exécuter le solveur en lui précisant quel fichier de configuration d'exécution utiliser. Pour cela il existe un bouton dans la barre des raccourcis ou, pour ne pas se tromper de configuration d'exécution dans le cas où il y en a plusieurs, il est possible de faire un clic droit sur la configuration d'exécution choisie et de demander l'exécution.

L'interface affiche alors les résultats au fur et à mesure de l'exécution, notamment dans les onglets du bas de la fenêtre, indiquant la solution une fois qu'elle est trouvée (si elle est trouvée), les statistiques d'optimisation, etc. Il est également possible d'explorer les valeurs des variables de décision optimisées dans le "problem browser" sur le côté gauche de la fenêtre.

## 5.4 Application du modèle

Après la présentation des différentes catégories de données, on a eu recours au logiciel CPLEX Studio dans le but de coder le modèle mathématique et présenter une solution du problème.

Les différents fichiers sont présentés dans l'annexe, et pour résoudre ce modèle on doit suivre les étapes suivantes :

### Étape 1 :

- On crée un projet OPL :  
Aller à : *File*  $\mapsto$  *New*  $\mapsto$  *OPLProject*

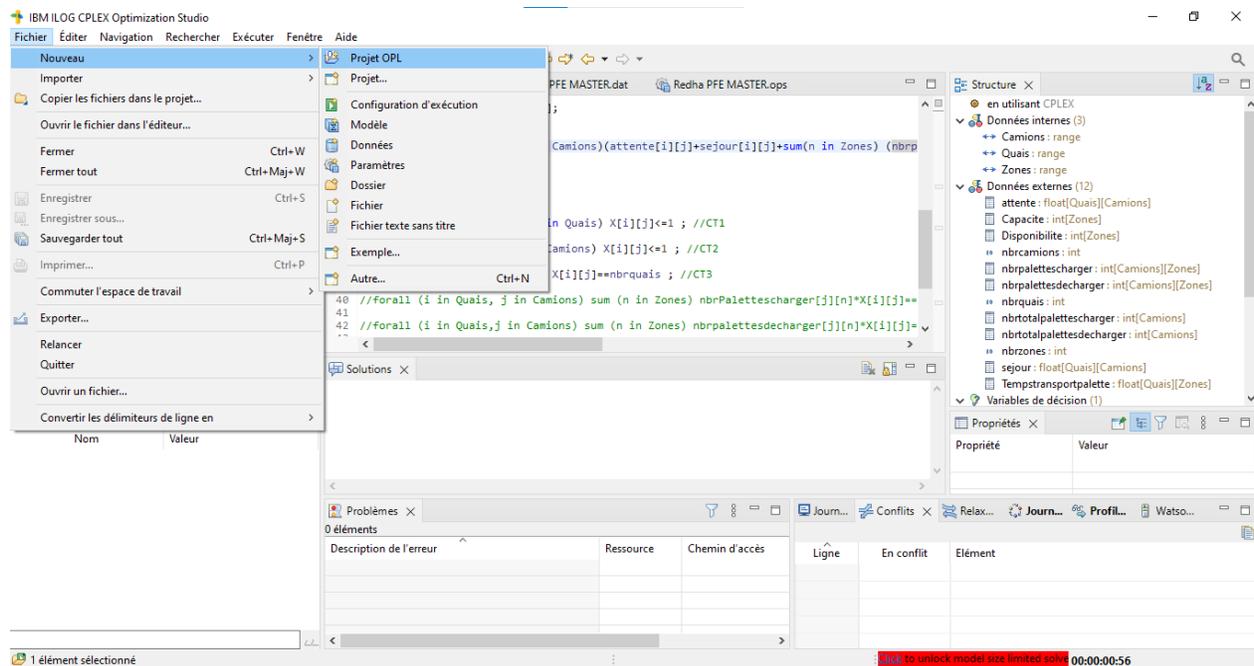


FIGURE 5.2 – Schéma de modèle

- Elle nous apparaisse la fenêtre ci-dessus, nous insérons le nom de projet, et on coche les options qui nous intéresse.

## CHAPITRE 5. IMPLÉMENTATION DE NOTRE MODÈLE

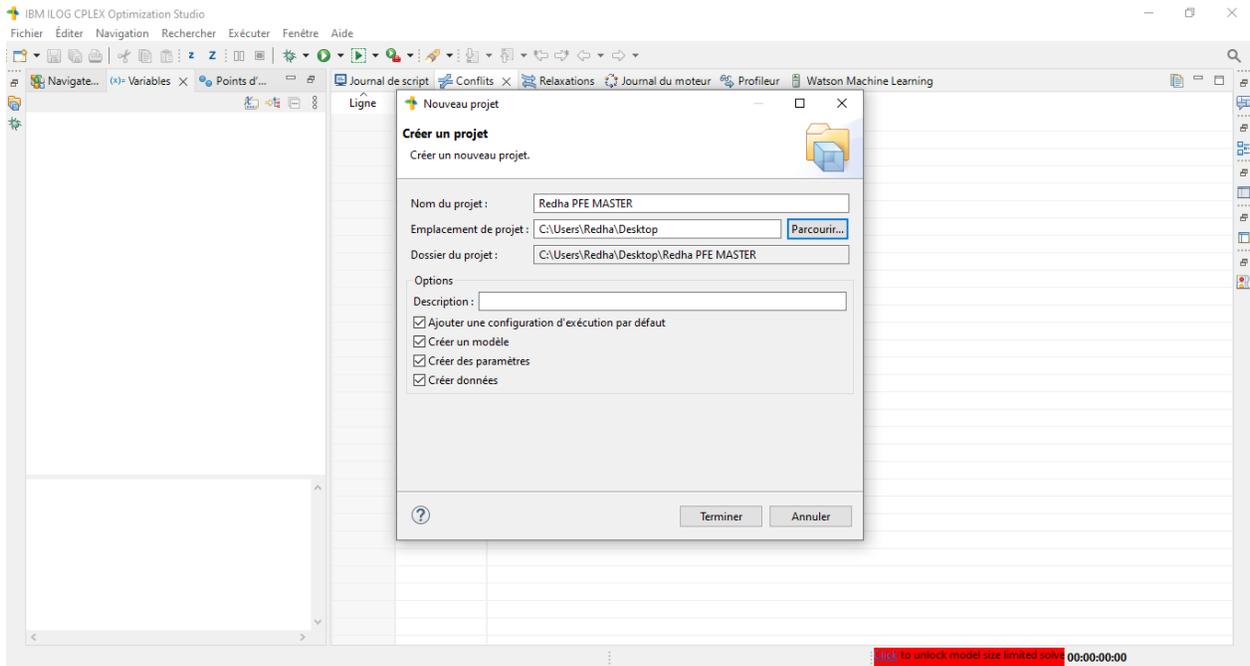


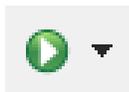
FIGURE 5.3 – Fenêtre des options du modèle

### Étape 2 :

- On a fait insérer les constantes, les variables de décision, les contraintes et la fonction objectif de notre problème d'optimisation en fichier (.mod).
- Dans le fichier (.dat), on fournit les valeurs des constantes déclaré en fichier (.mod) qui sont suivis par le symbole ' . . . ' .

### Étape 3 :

Dans cette étape on fait exécuter notre modèle de la manière suivante : on clique sur le bouton d'exécution.



## CHAPITRE 5. IMPLÉMENTATION DE NOTRE MODÈLE

Ou : Configuration d'exécution  $\mapsto$  Exécuter  $\mapsto$  Configuration d'exécution par défaut

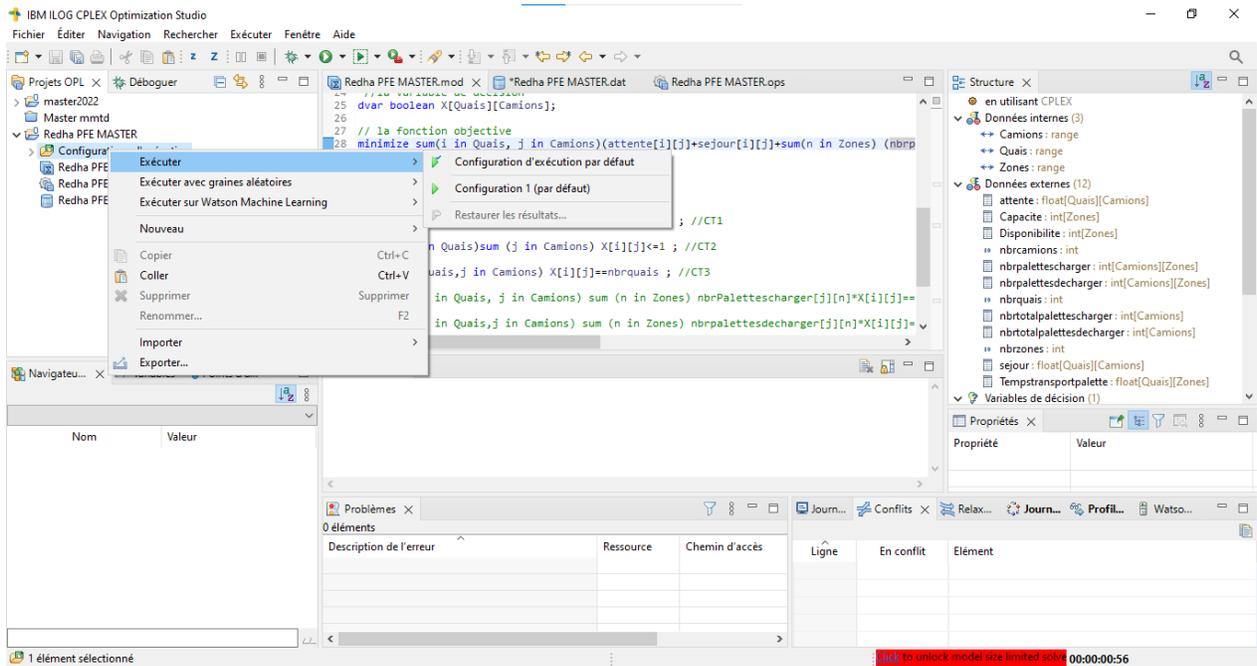


FIGURE 5.4 – Schéma d'exécution de modèle

### 5.5 Les résultats d'optimisation

La solution obtenue avec le solveur CPLEX, nous a permis d'avoir plusieurs informations ou mesure de l'exécution sur le problème en question comme les statistiques d'optimisation.

On effectue plusieurs instances pour bien comprendre la variation de la valeur de la fonction objectif.

**Instance 1 :**

On résout le PLNE avec CPLEX solveur et avec un nombre des camions entrant égale à 10, et un nombre des quais disponibles égale à 4, on obtient le résultat d'affectation optimale mentionné dans la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Quais (taille 4)	Camions (taille 10)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 5.5 – Affectation optimal avec 10 camions sur CPLEX

Ainsi la valeur de la fonction objectif en appliquant le modèle est donnés comme suit : 14.3 heures.

```

Solutions x
// solution (optimal) with objective 14.3
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1,4300000000e+01
// MILP solution norm |x| (Total, Max)  4,00000e+00  1,00000e+00
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP x bound error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP x integrality error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP slack bound error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
    
```

FIGURE 5.6 – Solution optimal avec 10 camions sur CPLEX

**Instance 2 :**

On applique notre modèle avec un autre scénario, dans ce cas nous avons le nombre de camions entrants est égale à 8 camions, et le nombre des poste à quai disponible égale à 4, on obtient le résultat d'affectation optimale mentionné dans la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Quais (taille 4)	Camions (taille 8)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0

FIGURE 5.7 – Affectation optimal avec 8 camions sur CPLEX

Ainsi la valeur de la fonction objectif en appliquant le modèle est donnés comme suit : 13.22 heures.

```
Solutions x
// solution (optimal) with objective 13.22
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1,3220000000e+01
// MILP solution norm |x| (Total, Max)  4,00000e+00  1,00000e+00
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP x bound error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP x integrality error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP slack bound error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
```

FIGURE 5.8 – Solution optimal avec 8 camions sur CPLEX

**Instance 3 :**

On applique notre modèle avec un autre scénario, dans ce cas nous avons le nombre de camions entrants est égale à 6 camions, et le nombre des poste à quai disponible égale à 4, on obtient le résultat d'affectation optimale mentionné dans la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Quais (taille 4)	Camions (taille 6)					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1

FIGURE 5.9 – Affectation optimal avec 6 camions sur CPLEX

Ainsi la valeur de la fonction objectif en appliquant le modèle est donnés comme suit : 11.8 heures

```
Solutions x
// solution (optimal) with objective 11.8
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1,1800000000e+01
// MILP solution norm |x| (Total, Max)  4,00000e+00  1,00000e+00
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP x bound error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP x integrality error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
// MILP slack bound error (Total, Max)  0,00000e+00  0,00000e+00
```

FIGURE 5.10 – Solution optimal avec 6 camions sur CPLEX

## 5.6 Interprétation des résultats

Pour bien comprendre le fonctionnement de notre modèle on a déroulé notre programme avec trois instances en utilisant différentes données : par rapport au nombre de camions rentrants, le nombre de palettes charger ou décharger par chaque camion, la zone de déchargement/ déchargement.

- Instance 01 : avec 10 camions rentrants et 4 quais, on a obtenu une solution optimale = 14.3 heures
- Instance 02 : avec 08 camions rentrants et 4 quais, on a obtenu une solution optimale = 13.22 heures
- Instance 03 : avec 06 camions rentrants et 4 quais, on a obtenu une solution optimale = 11.8 heures

L'application de modèle montre que à chaque fois on augmente le nombre des camions par rapport au nombre des postes à quais, ou bien on augmente la charge des camions nous avons une augmentation dans la valeur de la fonction objectif.

Donc on peut dire que notre modèle répond correctement au problème de minimisation de temps de manutention.

## Conclusion

Dans ce chapitre, on a commencé par une présentation de cplex avec ses différentes fonctionnalités suivie par une description détaillée de la procédure de création de notre modèle, pour finir, ce dernier a été déroulé avec trois instances.

# Conclusion générale

La recherche opérationnelle. Ce mot si beau et si effrayant. Beau pour ce qu'il permet de résoudre comme problème et effrayant pour ce qu'il présente comme difficultés. Hélas, nulle chose n'est belle si elle n'est pas difficile à atteindre.

Le thème de recherche opérationnelle que nous nous sommes proposés de traiter se trouve fascinant et passionnant parce qu'il nous a permis d'apprendre et de prendre plus que ce que nous avons apporté. Ce problème est connu dans la littérature sous l'appellation de problème d'allocation des postes à quai (Berth Allocation Problem (BAP)). Son énoncé simple et facile à comprendre peut être trompeur pour ce qu'il présente comme dessous, tenants et aboutissants.

La gestion des quais est fondamentale en entrepôt. Elle permet d'optimiser les processus de chargement et déchargement des camions afin de fluidifier les arrivées et départs de marchandises, visant à améliorer l'efficacité d'une plateforme logistique en termes du temps de manutention et de temps de séjour et de traitement des camions.

La planification des ressources pour affecter une grande variété de camions et les servir dans des délais octroyés est un garant de compétitivité et c'est une raison pour laquelle les problèmes d'ordonnancement des postes à quai sont devenus plus complexes et plus critiques.

L'objectif de cette étude a été de chercher à affecter, de façon optimale, les camions entrants dans une plate-forme logistique en minimisant leurs durées d'immobilisation et le nombre de mouvements qui se produisent lors de l'opération de chargement/déchargement, en prenant en considération les distances parcourues par les palettes chargées et déchargées entre le poste à quai et la zone de stockage.

En effet, le but principal de notre étude a été de réduire le temps associé au transport routier.

Le long de ce mémoire, nous avons tenté d'approcher différents aspects relatifs à ce problème. Ainsi, nous avons commencé par situer son cadre pratique sans oublier l'aspect théorique qui fait de lui un véritable problème.

## Conclusion générale

---

L'essentiel de ce mémoire s'articule autour du quatrième chapitre dans lequel nous avons modélisé notre problème. Nous avons rappelé dans le troisième chapitre les notions théoriques sur l'optimisation combinatoire. Le premier chapitre a été consacré pour la présentation de l'entreprise NUMILOG SPA, et le deuxième chapitre pour le lieu de notre stage la plateforme logistique de Bouira et position du problème. En dernier lieu, nous avons implémenté notre modèle sous CPLEX.

La solution proposée dans ce mémoire pour les problèmes d'allocations des postes à quai dans une plateforme logistique, peut être utilisée pour les autres types de plateforme. Nous aimerions conclure en indiquant un certain nombre de perspectives de recherches futures :

- Tester les modèles avec des données réelles.
- Créer une application logicielle qui met en oeuvre le modèle proposé.

# Bibliographie

- [1] **HOUNAS Mokrane, REZGUI Souhila** : « Les leviers de l'optimisation de la chaîne logistique internationale dans le cadre du transport routier. Cas de l'entreprise NUMILOG ». Mémoire de Master en Sciences Commerciale, spécialité : Finance et Commerce International, Université de Bejaia, 2018.
- [2] **SAADI Lamine et SEKKOUR Yanis** : « Optimisation de processus de préparation des commandes chez NUMILOG (client DANONE) », Mémoire de Master en Sciences Commerciales, option : Logistique et Distribution, Université de Bejaia, 2018.
- [3] **KHIREDDINE Hanafi et BOUCHIKH Billal** : « Gestion des risques routiers pour une entreprise de transport de marchandise Cas NUMILOG »,Mémoire de Master en Sciences Commerciales, option : Logistique et Distribution , Université de Bejaia, 2018.
- [4] **BOUROUBA Yasmina** : « Le Role Du Système D'information Dans L'optimisation De La Chaîne Logistique, cas de Cevital-Agro », Mémoire de Master en Science gestion, option : Management des Organisations, Université de Bejaia, 2013.
- [5] **Jin-Kao Hao et Philippe Galinier** : « Méta-heuristiques Pour l'optimisation Combinatoire et l'Affectation sous Contraintes », Article de l'Université d'Angers, 2 bd Lavoisier,1999.
- [6] **Dr. N. KHERICI** : « Exemple De Problèmes D'optimisation Combinatoire », Optimisation Combinatoire, M1 GADM, UBMA, 2020/2021.
- [7] **Vincent Gardeux** : « Conception d'heuristiques d'optimisation Pour les problèmes de grande dimension, application à l'analyse de données de puces à ADN », Thèse de doctorat spécialité informatique, Université de Paris-Est Créteil, 2011.
- [8] **ZOUBEIR Zeinebou** :« Vers un système d'aide à la décision pour l'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs », Thèse doctorat, l'université du havre, 2014.
- [9] **DOURI Sidi Mohamed,ELBERNOUSSI Souad et LAKHBAB Halima** :« Cours des méthodes de résolution exactes, heuristiques et métaheuristiques », Master Codes, Cryptographie et sécurité De l'information, Université Mohammed V, Faculté des sciences de Rabat.

- [10] **B.yassina et H.kahina** :« Optimisation de Plan d'affectation des équipes Au Niveau de la BMT Mémoire de Master, option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision, université de Béjaia, 2014.
- [11] **S.Chouinart** :« La programmation dynamique » ,Théorie et application, Université LAVAL, 2006.
- [12] **DOURI Sidi Mohamed** :« Cours des méthodes de résolution exactes heuristiques et méta-heuristiques » , article de l'université Mohammed V, Faculté des sciences de Rabat, Laboratoire de recherche mathématiques, informatique et applications.
- [13] **R. Mostepha** :« Résolution de problèmes d'optimisation combinatoire par systèmes artificiels auto-organisés » ,Thèse de magister, Université Mentouri de Constantine ,2008.
- [14] **HADJI Mohammed, MEDJAHEDI Ilham** :« Minimisation du Temps de Séjour des Navires dans un Port Cas : Entreprise Portuaire de Béjaia(EPB) », Mémoire de master, Modélisation Mathématique et Évaluation des Performances des Réseaux, Université de Béjaia, 2016.
- [15] **MANCEL Catherine** :« Modelisation et résolution de problèmes d'optimisation combinatoire issus d'applications spatiales »,Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2004.
- [16] **DEVARENNE Isabelle** :« Étude en recherche locale adaptative Pour l'optimisation combinatoire », Thèse de doctorat spécialité informatique , Université de Technologie belfort-Montbéliard et de l'Université de franche comté, 2007.
- [17] **BOUDHAR Mourad** :« Ordonnancement sur machines à traitement Par batch Sous Contraintes De comptabilité de tâches : complexité et approches algorithmiques », Thèse doctorat de l'université de L'USTHB, 2004.
- [18] **EMMAK Allaoua** :« Résolution d'un Problème d'ordonnancement sur une machine Avec Date echue commune Par la programmation dynamique et la relaxation lagrangienne », mémoire magister de l'Université du Mohamed Bodiaf de M'sila , 2007.
- [19] **M. Ehrgott** :« Mucriteria Optimization »,Springer, second edition, 2005.
- [20] **M. Palpant** :« Recherche exacte et approchée en optimisation combinatoire : schémas d'intégration et applications »,Thèse de Doctorat, Université d'Avignon, 2005.
- [21] **R.Sadykov** :« Introduction à la Programmation par Contraintes (PPC) »,LIX, ÉcolePolytechnique,2014.
- [22] **MIHALIS Golias, BOILE Maria , THEOFANIS Sotirios** :« The berth allocation problem : a formulation reflecting time window service deadlines », The State University of New Jersey.
- [23] **P. Pesneau** :« Outils et Logiciels d'Optimisation », 2007.
- [24] **TOUSSAINT Hélène** :« IBM ILOG CPLEX Optimization Studio : Une introduction à OPL et Cplex Studio IDE ».
- [25] **DUHAMEL Andréa, Christophe** :« introduction à CPLEX »,ISIMA 2008/2009.

- [26] **BELLILI Ismail** :« Evaluation de la performance du processus de préparation des commandes cas pfl numilog bouira »,Mémoire de Master,Ecole des hautes etudes commerciales, 2021.
- [27] **IKNI Cylia, LATTARI Hakim** :« Optimisation de la distribution des produits pétroliers au sein de l'entreprise NAFTAL », Mémoire de master professionnel en Mathématiques Appliquées à la Gestion, Université de Tizi-Ouzou,2017.
- [28] **FLAVIA Monaco,MARCELLO Sammarra** :« The berth allocation problem : a strong formulation solved by a Lagrangean approach », Transportation science, Université della Calabria, Italy, 2007.
- [29] **CHAABANE Sondes ,BEKRAR Abdelghani, WALHA Faiza** :« Problématique d'allocation au sein d'un PI-hub, Rail-Route,Partie : Rail vers Route », LAMIH – Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2017.
- [30] **Bierwirth, Meisel** : « A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals », European Journal of Operational Research, 202(3), 615-627, 2010

# Résumé

L'objectif de notre travail est de réduire le temps global associé au transport routier de marchandise, en minimisant le temps de séjour de camions dans une plateforme logistique, et le nombre de mouvements qui se produisent lors de l'opération de chargement/déchargement.

On a construit notre modèle en se basant sur les concepts de l'optimisation combinatoire, par la suite on a implémenté ce modèle sur un solveur d'optimisation CPLEX, en utilisant des données récupérées durant notre stage à NUMILOG Bouira, on a obtenu des résultats satisfaisants en termes de minimisation des temps d'immobilisation de camions. En effet, notre travail peut aider l'entreprise NUMILOG à améliorer sa gestion de quais.

**Mots clés :** allocation des quais, programmation mathématique, manutention des camions, gestion des quais, optimisation combinatoire.

\*\*\*\*\*

The objective of our work is to reduce the overall time associated with the road transport of goods, by minimizing the dwell time of trucks in a logistics platform, and the number of movements that occur during the loading/unloading operation.

We built our model based on the concepts of combinatorial optimization, then we implemented this model on a CPLEX optimization solver, using data recovered during our internship at NUMILOG Bouira, we obtained results satisfactory in terms of minimizing truck downtime. Indeed, our work can help the NUMILOG company to improve its dock management.

**Key words :** dock allocation, mathematical programming, handling trucks, dock management, combinatorial optimization.