

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Béjaia
Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
En Mathématiques appliquées
Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

Par : Chiroual Yasmine

Et : Haddouche Ryma

Optimisation des temps de manutention des conteneurs au niveau de BMT

Devant le jury composé de :

D ^r B. Brahemi	M.C. classe A	Président	à l'UAMB - Bejaia.
D ^r L. Asli	M.C. classe A	Encadrant	à l'UAMB - Bejaia
D ^r M. Soufit	M.C. classe B	Examinateur	à l'UAMB - Bejaia.
D ^r K. Kabyl	M.C. classe B	Examinateur	à l'UAMB - Bejaia.

Année Universitaire 2021 – 2022

Remerciement

Nous remercions d'abord le bon Dieu d'avoir toujours été à coté de nous, et de nous avoir accordé santé et courage pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profond remerciement à notre promoteur **Mr Larbi ASLI** pour ses conseils, sa disponibilité, son aide et son soutien moral indéfectible qu'il nous a accordé.

Nos remerciements sont également adressées à tous les enseignants du département recherche opérationnelle, spécialement pour les enseignants de spécialité modélisation mathématique et techniques de décision.

Nous remercions les membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail.

Nos remerciements et profondes gratitude sont destinés à : Nos chers parents Nos frères et soeurs Nos amis et nos familles a toute la famille CHIROUAL et HADDOUCHE

Dédicace

Je dédie Ce modeste travail A,
L'âme de ma grand-mère, je t'aimerai pour toujours, que Dieu t'accueille
dans son vaste paradis
Mes parents, pour tout leurs sacrifices, amour, tendresse, soutien et leurs
prières tout au long de mes études
Mes chères frères Rabie, sofiane et sa femme Hanane
Ma soeur karima et son mari Sofiane
Mes nièces adorées ; Amina, Amani, Nada et Rinad
Mes amies et amis
Tous les étudiants de RO

- *Yasmine*

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère

A mon cher père

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

A mes frères : Hakim, Akli, Fatah, Radouane, Wahib(beau frère).

A mes soeurs : Hakima, Nassia, Kika(belle soeur).

pour leurs soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de ma vie.

A mes neveux : Asma, Amina, Aya, Ilyes

Que j'admire.

A mes plus proches : OUADJIM Khaoula Lilia

Qui m'ont aidé et supporté dans les moments difficiles.

A mes cousines préférées : LYDIA, SABRINA

- *Ryma*

Table des matières

Table des matières	VI
Table des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des abriviations	VIII
Introduction générale	1
1 Présentation de l'entreprise BMT (Bejaia Mediterranean Terminal)	4
1.1 Création (Jointe venture)	4
1.2 Définition de la BMT	5
1.3 Situation géographique	5
1.4 Structure de l'entreprise	6
1.4.1 Direction Générale (DG)	6
1.4.2 Direction des ressources humaines (DRH)	6
1.4.3 Direction des Finances et comptabilité	7
1.4.4 Direction Marketing (DM)	7
1.4.5 Direction technique (DT)	8
1.4.6 Direction des opérations (DO)	8
1.5 Conteneurs	8
1.5.1 Définition du conteneur	9
1.5.2 Différents types du conteneur	9

1.6	Terminal à conteneurs	14
1.6.1	Capacité du Terminal	14
1.6.2	Opérations du terminal	15
1.6.3	Outils de la gestion du terminal	16
1.7	Équipements de manutention	18
1.8	Processus de manutention	20
1.8.1	Débarquement des conteneurs	20
1.8.2	Embarquement des conteneurs	21
1.9	Description du parc à conteneurs	22
1.10	Objectif de BMT	22
1.11	Atouts de BMT	23
1.12	Position du problème	23
2	Optimisation combinatoire et techniques de résolution	25
	Introduction	25
2.1	C'est quoi l'optimisation ?	25
2.1.1	Optimum global/ Optimum local	26
2.2	Optimisation Combinatoire	27
2.3	Complexité des problèmes	27
2.4	Les problèmes classiques d'optimisation combinatoire	29
2.4.1	Problème de transport	29
2.4.2	Problème d'affectation	30
2.4.3	Problème d'ordonnancement :	31
2.5	Méthodes de résolution	32
2.5.1	Méthodes exactes	32
2.5.2	Méthode Approchées	33
	Conclusion	34
3	Modélisation du Problème d'ordonnancement	35

Introduction	35
3.1 Les opérations de débarquement au niveau de BMT	35
3.2 Affectation des équipements au niveau de BMT	36
3.2.1 Décision d'affectation des Grues de Quai	36
3.2.2 Décision d'affectation des Mols	36
3.2.3 Affectations des RTGs	37
3.3 Construction de modèle	38
3.3.1 Variables de décisions	39
3.3.2 Exemples numériques	43
3.3.3 La complexité du problème :	47
Conclusion	47
4 Implémentation et Résolution	48
Introduction	48
4.1 CPLEX	48
4.2 Choix de langage	49
4.2.1 Création du projet :	50
4.2.2 Les résultats d'optimisation	52
4.3 Interprétation des résultats :	54
Conclusion	54
Conclusion générale	55

Table des figures

1.1	Jointe venture	5
1.2	Position géographique de BMT	6
1.3	Organigramme de BMT	7
1.4	Conteneur dry	9
1.5	Conteneur open top	10
1.6	Conteneur citerne	11
1.7	Conteneur flat rack	11
1.8	Conteneur reefer	12
1.9	Conteneur 40/50 pallet Wide	13
1.10	Conteneur ventilé	13
1.11	Les équipements de manutention	20
3.1	Processus du manutention des conteneurs	37
3.2	Le processus de manutention	43
3.3	Exemple avec quatre conteneurs et un camion	44
3.4	Exemple avec quatre conteneurs et deux camions	46
4.1	Fenêtre des options de modèle	51
4.2	Schéma d'exécution de modèle	51

Liste des tableaux

1.1	Les équipements de manutention	18
3.1	Durées de manutention de chaque conteneur	45

LISTE DES SYMBOLES

BMT : Bejaia Mediteranean Terminal.

CTMS : Container Terminal Management System.

DG : Direction Générale.

DM : Direction Marketing.

DO : Direction des opérations.

DRH : Direction des ressources humaine.

DT : Direction technique

EPB : Entreprise Portuaire de Bejaia.

EVP : Equivalent Vingt Pieds.

OCR : Optical Character Recognition.

PDS : Position Determining System.

QC : Quai-crane.

RDS : Radio Data System.

RMG : Rail-Monted Gantry.

RTG : Rubber-Tyred Grantry.

SPA : Société Par Action.

TC : Conteneur.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La recherche opérationnelle peut se définir comme l'ensemble des méthodes et techniques rationnelles d'analyse et de synthèse des phénomènes d'organisation utilisables pour élaborer des meilleures décisions[11]. C'est une discipline qui permet de mettre en place des modélisations appropriées dans le contexte portuaire, une discipline qui favorise le développement des outils d'aide à la décision et des méthodes scientifiques permettant de résoudre des problèmes complexes en les solutionnant vers des meilleures décisions.

Les problèmes d'organisation rencontrés dans une entreprise ne sont pas mathématiques dans leur nature, mais les mathématiques peuvent permettre de résoudre ces problèmes [16]. Pour cela il faut traduire le problème dans un cadre mathématique dans lequel les techniques de la recherche opérationnelle pourront s'appliquer. Cette traduction est le modèle du problème et la résolution d'un problème dépend crucialement du ce modèle choisi. Ce qui est demandé au chercheur opérationnel c'est de proposer une meilleure utilisation des ressources, voire une utilisation optimale[16].

La résolution des problèmes d'optimisation a pour objectif selon le contexte, de minimiser ou de maximiser un ou plusieurs critères en respectant certaines conditions dites contraintes.

Les ports maritimes existent pour faciliter le transfert des marchandises des transports intérieurs au transport maritime et vice-versa, et pour permettre aux marchandises d'entrer dans le pays et d'en sortir aussi rapidement et aussi efficacement que possible.

La conteneurisation participe à l'augmentation du trafic maritime mondial puisqu'elle rend plus facile le transport de tout types des marchandises à travers le monde entier. En effet, les ports maritimes ont connu de grands développements des techniques de manutention. Un terminal maritime à conteneurs est un système complexe qui se décompose en deux grandes zones, chacune étant caractérisée par ses propres opérations de manutention et ses équipements [5], la partie quai, où les navires sont chargés/déchargés par des portiques de quai, et la partie zone de stockage, avec un équipement qui relie les deux zones véhicule de transport. Sa performance dépend de la pertinence des décisions, tant au niveau stratégique et tactique qu'opérationnel.

Dans ce contexte, BEJAIA MEDITERRANEAN TERMINAL bénéficie d'une situation géographique privilégiée à l'entrée du range nord-est de l'Afrique et irrigue les marchés algériens, et nord africains. Cette position stratégique fait du terminal de BMT, le premier terminal à conteneurs algérien pour le commerce extérieur, il est le premier terminal en Algérie qui dote d'un matériel spécialisé dans le traitement des conteneurs, et en terme de trafic conteneurisé, il se dispose également d'équipements d'exploitation les plus perfectionnés de qualité, d'efficacité et de fiabilité en des temps records et à des coûts compétitifs.

Pour mieux se placer dans un environnement soumis à de fortes concurrences, l'entreprise BMT a pour objectif de respecter les délais de livraison et de réduire le temps et le coûts des différentes opérations de manutention et de tranfert des conteneurs.

En effet, de nombreux travaux ont été réalisé au niveau de l'entreprise, parmi lesquels on distingue les problèmes liés à l'arrivée des navires dans un port, au chargement et déchargement de ces navire, parmi les problématiques traitées :

- Celle réalisé en 2016, où ils ont traité le problème connu dans la littérature par le

problème d'allocation des postes à quai (BAP), l'objectif principal est la minimisation de temps du séjour de navires dans le port, et le nombre de mouvements qui se produisent lors de l'opération de chargement/déchargement[6].

Les problèmes liés au transport des conteneurs vers la zone de stockage (et vice versa). Ces recherches ont montré l'importance et la valeur des problèmes de planification et d'optimisation dans un terminal maritime.

Ce mémoire a pour principal objectif de minimiser la durée de manutention totale en exploitant les méthodes de recherche opérationnelle. Notre travail consiste à résoudre un problème d'optimisation, plus précisément l'ordonnancement des activités de manutention des conteneurs entre le quai et les zones de stockage dans le terminal à conteneurs BMT.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est dédié à la présentation de l'entreprise BMT, ses structures, ses moyens et ses services.
- Dans le deuxième chapitre, nous donnons quelques rappels sur l'optimisation combinatoire, ses modèles, quelques problèmes de la recherche opérationnelle et les méthodes de résolution.
- Le troisième chapitre est consacré à la modélisation de notre problème.
- Dans le quatrième chapitre, nous présentons brièvement le solveur en langage CPLEX. Puis représenter les résultats obtenus par ce dernier .
- Ce travail s'achève par une conclusion mettant l'accent sur les recommandations, ainsi les perspectives engendrées par ce dernier.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE BMT (BEJAIA MEDITERRANEAN TERMINAL)

Présentation de BMT

1.1 Création (Jointe venture)

BMT – SPA est une jointe venture entre l'Entreprise Portuaire de Bejaia et Portek Systems and Equipment. EPB est l'autorité portuaire qui gère le port de Béjaia. PORTEK Systems and Equipment, une filiale du Groupe PORTEK qui est un opérateur de Terminals à conteneurs présent dans plusieurs ports dans le monde et également spécialisé dans les équipements portuaires.

L'activité principale de BMT est la gestion et l'exploitation du Terminal à conteneurs. La figure ci dessous représente la jointe venture de cet entreprise .



FIGURE 1.1 – Jointe venture

1.2 Définition de la BMT

BMT est créée comme une société par actions, c'est une entreprise prestataire de services spécialisés dans le fonctionnement, l'exploitation et la gestion du terminal à conteneurs. Pour atteindre son objectif, elle s'est dotée d'un personnel compétent particulièrement formé dans les opérations de gestion du terminal.

Elle dispose des équipements d'exploitation les plus perfectionnés pour les opérations de manutention et d'acconage afin d'offrir des prestations de services de qualité, d'efficacité et de fiabilité en des temps records et à des coûts compétitifs.

BMT offre ses prestations sur la base de 24h/24 , 7 j/7.

le niveau de la technologie mis en place et la qualité des infrastructures et équipements performants.

1.3 Situation géographique

L'entreprise BMT est implantée au centre du pays, au cœur de la méditerranée dans le nord du continent africain, le Port de Béjaïa occupe une situation géographique stratégique.

Il dessert un hinterland important et très vaste. La ville, le Port et le terminal à conteneurs de Béjaïa disposent de ce fait de voies de communication reliant l'ensemble des routes du pays, des voies ferroviaires et à proximité d'un aéroport international. La figure ci-dessus représente la situation géographique de BMT.



FIGURE 1.2 – Position géographique de BMT

1.4 Structure de l'entreprise

La structure de l'entreprise est représenté dans l'organigramme suivant :

1.4.1 Direction Générale (DG)

À sa tête le directeur général qui gère l'entreprise, a le pouvoir de décision, administre l'entreprise, assigne des directives pour les différentes structures.

1.4.2 Direction des ressources humaines (DRH)

Sa mission est de mettre en œuvres des systèmes de gestion intégrés à la stratégie de BMT pour atteindre ses objectifs et qui traduisent une adéquation entre les impératifs économiques et les attentes du personnel.

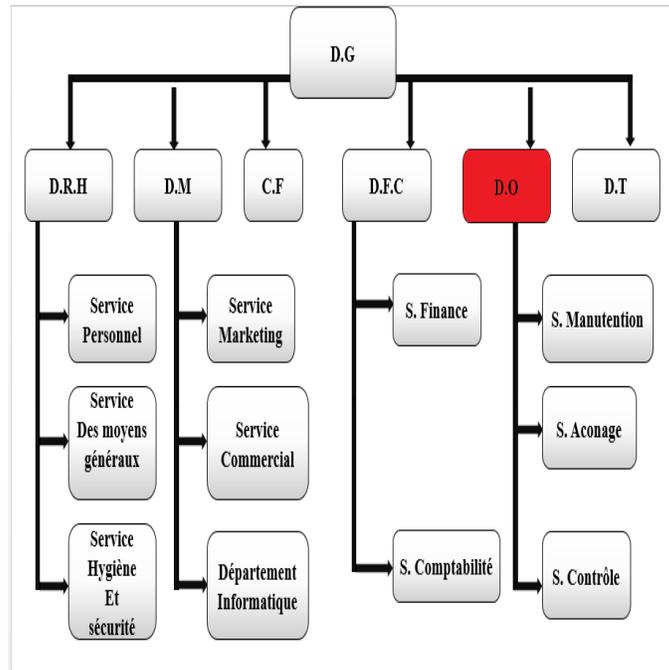


FIGURE 1.3 – Organigramme de BMT

1.4.3 Direction des Finances et comptabilité

La mission de la direction des finances et comptabilité est :

- Veiller à l'adéquation de la politique financière et de l'entreprise avec les objectifs globaux.
- Cordonner et suivre les relations avec les banques, et les administrations fiscales et parafiscales.

1.4.4 Direction Marketing (DM)

Veille à la marque de l'entreprise en se préoccupant en permanence d'entretenir des relations avec les clients. Elle vise à faire connaître ses missions, ses programmes, ses orientations et ses performances auprès de ses clients. Elle amène son environnement externes à prendre conscience de l'importance des démarches qu'elle entreprend dans le développement et l'amélioration de la qualité des services.

Service commercial :

Suit la facturation, la gestion de portefeuille clients et recouvrement des créances.

Département informatique :

Assure le bon fonctionnement du CTMS, la maintenance du parc informatique de l'entreprise et le développement de nouvelles applications aux différentes structures.

1.4.5 Direction technique (DT)

Assure une maintenance préventive et curative des engins du parc à conteneurs.

1.4.6 Direction des opérations (DO)

Assure la planification des escales de parc à conteneurs et la planification des ressources. Elle prend en charge les opérations de manutention comme la réception des navires porte-conteneurs et leurs chargements et déchargements, comme elle suit les opérations de l'acconage tel que : le suivi des livraisons, dépotage, mise à disposition des conteneurs vides, traitement des conteneurs frigorifiques, et la sécurité au sein de terminal.

1.5 Conteneurs

La conteneurisation est le fait d'utiliser des conteneurs comme moyen de transfert des biens et de marchandises. Ce concept n'est apparu qu'au XXème siècle, mais depuis lors il est devenu un élément indispensable dans le domaine du transport et considéré comme la solution technique la plus appropriée car elle utilise des conteneurs comme moyens de transport des biens et des marchandises avec des coûts plus bas, et pour sécuriser et protéger ces marchandises pendant le transport.

1.5.1 Définition du conteneur

Selon la convention de Genève en 1972, le conteneur est un engin de transport ayant un caractère permanent et étant de ce fait, suffisamment résistant pour permettre son usage répété . . . , et constituant un compartiment, totalement ou partiellement clos destiné à contenir des marchandises.

1.5.2 Différents types de conteneur

Généralement, il existe différents types de conteneurs.

Conteneurs standards ou "dry" :

Ce sont des conteneurs spécialisés dans le transport de tous types de marchandises, ils se caractérisent par un toit fermé, des parois latérales et des extrémités rigides et ils sont équipés de portes à une extrémité. [3]. LA figure ci-dessus représente un conteneur Dry.



FIGURE 1.4 – Conteneur dry

Conteneurs "Open Top" :

Ces conteneurs sont spécialement conçus pour le transport des produits manufacturiers lourds et/ou volumineux dont la manutention et le chargement ne peuvent être effectués qu'avec l'aide d'une grue ou d'un pont roulant. Des conteneurs OPEN TOP demi hauteur



FIGURE 1.5 – Conteneur open top

basculants sont spécialement conçus pour le transport de minerais en vrac. Voir la figure suivante qui représente un conteneur Open top.

Conteneurs citernes "tank" :

Ces conteneurs sont composés de deux éléments de base : la citerne et l'ossature. Ce type de conteneurs est utilisé pour transporter les produits alimentaires (jus de fruits, huiles,...) et produits chimiques (pétrole, gasoile ...), qui est équipé par des accessoires destinés à faciliter le chargement et le déchargement du contenu. [3] Voir l'image ci-dessous qui représente le conteneur décrit .



FIGURE 1.6 – Conteneur citerne

Conteneurs flats racks :

Les conteneurs plats sont ouverts sur les deux côtés et le dessus, ils sont principalement utilisés pour transporter des marchandises volumineuses, lourdes ou hors gabarit (en hauteur ou en largeur), et des marchandises fragiles et encombrantes. Ces conteneurs sont composés de deux éléments : un armateur en acier et un plancher en bois tendre. On représente ce conteneur dans la figure ci-dessus.



FIGURE 1.7 – Conteneur flat rack

Conteneurs frigorifiques "reefers" :

Ce sont des conteneurs utilisés pour transporter et stocker des marchandises périssables ou des matériels exigeant une température et une hygrométrie constante. Il s'agit principalement de fruits, légumes, viandes et de produits laitier. Ces conteneurs ont des caractéristiques thermiques (parfois isolées) munis d'un dispositif de réfrigérateur et de chauffage. La figure ci-dessus représente un conteneur reefers.



FIGURE 1.8 – Conteneur reefer

Conteneurs 40/50 pallet wide :

Ces conteneurs sont généralement utilisés pour transporter des palettes de 120cm. Cette utilisation optimale de l'espace du conteneur est sans chargement fractionné permet d'éviter les mouvements des marchandises. on représente le conteneur Pallet wide dans la figure ci-dessous.



FIGURE 1.9 – Conteneur 40/50 pallet Wide

Conteneurs ventiles :

Ces conteneurs sont généralement utilisés pour transporter le lait ou le café dont la surface de ventilation naturelle a été augmentée par l'ouverture d'orifices de cette ventilation. Cette ouverture ne doit pas être exposée à la pluie ou bien à l'humidité. La figure ci-dessus représente le conteneur décrit.



FIGURE 1.10 – Conteneur ventile

1.6 Terminal à conteneurs

1.6.1 Capacité du Terminal

Avec quatre postes à quai de 500m, un tirant d'eau de 12m à partir chenal, et une capacité de stockage de 10300 EVP, le terminal à conteneurs de Béjaia offre des installations spécialisés pour les conteneurs frigorifiques et les produits dangereux. Les Tableaux suivants, résume les caractéristiques de ce terminal à conteneurs pour accostage :

Quai pour accostage :

longueur	500 m
profondeur	12 m
superficie	60 h
nombre de poste	04

Parc à conteneurs :

Capacité	10300 EVP
Superficie	100000 m^2

Parc à conteneurs vides :

Capacité	500 EVP
Superficie	15200 m^2

Parc à conteneurs pleins :

Capacité	8300 EVP
Superficie	78500

Parc à conteneurs Reefers :

Capacité	500 prises
Superficie	2800 m^2

Zone pour Empotage et Dépotage :

Capacité	600 EVP
Superficie	3500 m^2

Zone Extra Portuaire :

Capacité	5000 EVP
Superficie	50000 m^2

1.6.2 Opérations du terminal

BMT reçoit annuellement un grand nombre de navires pour lesquels elle assure les opérations de planification, de manutention et d'acconage avec un suivi et une traçabilité des opérations.

Opérations de planification

- Planification des escales : programmation des accostages et des postes à quai.
- Planification déchargement/chargement.
- Planification du parc à conteneurs (visite, dépotage, enlèvement et restitution des conteneurs vides au parc).
- Planification des ressources : équipes et moyens matériels.

Opérations de manutention

Assure la gestion les opérations au niveau des navires. Après accostage du navire, des équipes spécialisées s'occupent de toutes les opérations de manutention au navire :

- Débarquement des conteneurs ;
- Shifting des conteneurs ;
- Embarquement des conteneurs ;

Elle est opérationnelle le jour comme la nuit, répartie en deux équipes de 07h à 13h et de 13h à 19h avec une troisième équipe over-time optionnelle qui s'étale jusqu'à 07h du matin. Les portiques de quai représentent les ressources essentielles à l'exécution de ses prestations, le nombre des conteneurs débarqués ou embarqués par heure constitue une mesure de la qualité de service.

Opérations d'aconage

Assure la gestions des opérations au niveau de terminal. Une fois le conteneur est disposé dans le parc, les opérations suivantes peuvent prendre place :

- Suivi des visites du conteneur par les services concernés
- Changement de position des conteneurs
- Suivi des livraisons et des dépotages
- Suivi des restitutions et des mises à quai
- Mise à disposition des conteneurs vides pour empotage

La qualité de service est mesuré à ce niveau par le nombre de livraisons et restitution effectués par jour.

1.6.3 Outils de la gestion du terminal

Pour améliorer l'efficacité dans la manutention des conteneurs, BMT s'est dotée de systèmes d'informations de gestion du terminal pour assurer une meilleure traçabilité des conteneurs et des sécurités.

CTMS (Container Terminal Management System)

BMT dispose d'un système logistique de gestion du Terminal à conteneurs moderne pour ses clients.

Le CTMS assure plusieurs tâches telles que :

- Le suivi du processus d'importation et d'exportation.

- Le suivi de dépotage des conteneurs.
- La planification des navires et du parc à conteneurs.
- Le suivi des opérations de shifting au niveau du parc à conteneurs.
- Le suivi des opérations de chargement et de déchargement.[2]

PDS (Position Determining System)

Le PDS (Position Determining System), autrement dit le Système de Détection de positionnement, permet de détecter tous les mouvements du conteneur en fournissant la position des appareils de manutention lorsque le conteneur est manipulé en employant le GPS (Gestion de Position par Satellite).

RDS (Radio Data System)

Le RDS fonctionne sur la base d'une transmission de données sans fil via les signaux hertziens numériques, opérant à une fréquence déterminée. La transmission sans fil maintient une liaison radio bilatérale entre un terminal mobile au niveau d'un poste de travail (au niveau des parcs à conteneurs ou sur le quai) et le serveur principal sur lequel tourne le CTMS. L'utilisation de la communication bilatérale signifie que les utilisateurs mobiles ne doivent pas se déplacer pour recevoir des instructions ou transmettre un rapport concernant les opérations. Ils sont donc en mesure d'effectuer leur travail en temps réel beaucoup plus efficace avec un gain de temps. [22]

OCR (Optical Character Recognition)

Reconnaissance Optique de Caractère

Pour améliorer l'efficacité et la productivité de la manutention des conteneurs en transit dans le Terminal à conteneurs, BMT a opté pour une installation du système OCR basé sur la reconnaissance des caractères. OCR est conçu pour identifier en temps réel tous les conteneurs entrant dans le Terminal ou sortant. Au moment où le conteneur (transporté par camion) s'engage dans le Terminal ou lorsqu'il en sort, le système OCR saisit et

archive les numéros des conteneurs et enregistre l'heure d'arrivée ou de sortie du conteneur.

1.7 Équipements de manutention

BMT est le seul Terminal à Conteneurs en Algérie à être suffisamment équipé en moyens et matériels spécialisés de manutention et de levage qui réduisent les temps d'escale permettant de répondre aux attentes et aux exigences des opérateurs. On représente ces équipes dans le tableau donné ci dessous.

Équipement	Nombre	Tonnage
grues	2	100 tonnes
Quai crane(Qc)	2	40 tonnes
portiques gerbeurs sur pneu RTG	8	36 tonnes
steakers	9	40 tonnes
chariot manipulateur du vide	10	10 tonnes
chariot élévateur	11	2,5,3,5,10tonnes
remorque portuaire	18	40 tonnes
remorque routière	24	30 tonnes

TABLE 1.1 – Les équipements de manutention

Les grues sont utilisées pour effectuer les opérations de manutention. Elles servent à charger et à décharger les navires porte-conteneurs, mais ils doivent suivre un plan de travail bien déterminé qui assure l'équilibre du navire. Généralement, ce genre de grue circulent sur des rails.[19]

Quant aux RTGs, elles servent à placer (ou à enlever) des conteneurs dans (ou de) la zone de stockage.

Les **RTGCs** ont des pneus en caoutchouc, ce qui leurs donne la flexibilité de circuler librement à l'intérieur de la cour de stockage. Elles sont capables de faire des rotations de 90° pour effectuer des mouvements orthogonaux ; mais ce genre de mouvement nécessite du temps et dure environ 15 minutes [4]. Contrairement à elles, les RMGCs ne peuvent circuler que sur des voies ferrées, mais leur principal avantage est leur rapidité car elles sont capables de parcourir 300m en 1min15sec [20]. En plus de cela, elles peuvent être utilisées à tout moment (sauf lorsqu'elles sont en panne ou bien en maintenance), contrairement aux RTGCs qui ne sont opérationnelles qu'en présence de main d'œuvre. [?]

Véhicules internes de transfert

Différents types de véhicules sont utilisés pour effectuer les transferts des conteneurs à l'intérieur d'un terminal à conteneurs : des camions et des cavaliers gerbeurs.



Grue de quai (QC)



Empty Container Handler (spreader)



Camion remorque portuaire



Rubber Type Gantry (RTG)



Mobile Harbor Crane (MHC grue)



Reach Stacker (steaker)



Chariots Elévateurs



Camion remorque routière

FIGURE 1.11 – Les équipements de manutention

1.8 Processus de manutention

1.8.1 Débarquement des conteneurs

Après planification de l'escale DEB des **Discharging locations slips** sont imprimées et transmises au terrain afin de garder le mouvement du conteneur traçable de son débarquement jusqu'à sa mise en place dans les piles, car cette location slip, nous retrouvons :

- N° du TC

- Nom du navire
- Statut (vide ou plein)
- Vers quelle position au bloc l'envoyer
- Position à bord du navire
- Sa catégorie(GP.Rf.OT,...)
- Sa dimension (40p ou 20p)

Les discharging location slips sont classés par Bay, le chef de bateau distribue les locations aux pointeurs, selon leurs Bays, où ils opèrent à chaque débarquement. Le pointeur confirme la conformité du numéro du conteneur, le size... , selon la location slip, il porte le numéro du conteneur et le size sur les fiches, ainsi que des dommages si le conteneur est touché, il remet le bon (location slip) au camionneur qui lui-même l'achemine vers le bloc. Le pointeur du bloc reçoit le conteneur et le contrôle à son tour, lors de sa mise en place dans le slot, ce dernier met la position sur le discharging location slip, dont on y retrouve le **bloc/slot/row/tier(bloc/case/rangée/étage)**

À la fin du shift, les bons sont transmis au control par le chef des opérations ou chef pointeurs, les positions sont actualisées sur système, et le conteneur existe physiquement et sur système.

1.8.2 Embarquement des conteneurs

Après la saisie de la liste des vides sur système prévu à l'embarquement, une planification suivra afin de les positionner d'abord dans le navire suivant les instructions de l'armateur car les paramètres liés à la visibilité lors des navigations, les stabilités navire, doivent être respectés. Par la suite, des loading location slips seront imprimés et distribués au parc, car tout conteneur pour qu'il soit embarqué, le pointeur doit donner au chauffeur remorque la location, à son tour le chauffeur à son arrivée à quai pour l'embarquement le remet au pointeur QC pour confirmer la conformité du conteneur, et embarquer par la suite, à chaque fin de shift, le chef des opérations ou chef pointeur remet les locations au

contrôle center afin de les confirmer à l'embarquement dans le système et le conteneur disparaît du yard après cette opération.

1.9 Description du parc à conteneurs

Parc à Conteneurs TCs pleins

Ce parc est organisé en 5 blocs, désignés par les lettres d'alphabet A, B, C, D ,E chaque bloc est constitué de 56 piles (slots) et de 6ème ligne (rows) et d'un gerbage de 5 niveaux maximum (tier) le 5ème niveau est souvent laissé pour le shifting des TCs. Une partie de bloc E est réservé pour les reefers (500 prises). La superficie du parc est de 68500m.

Parc à conteneurs TCs vides

Il est destiné à l'entreposage des TCs vides de type 20 pieds à leurs restitution jusqu'à leurs embarquement. Il est organisé en 6 blocs (V1, V2 ,V3 ,V4, V5 ,V6) d'une capacité 900 EVP qui s'étale sur une superficie de 15200m². L'un de ces blocs est destiné au dépôtage/empotage des TCs 20 pieds. Il est d'une capacité de 600 EVP qui s'étale sur une superficie de 3500m²

1.10 Objectif de BMT

- Faire du terminal à conteneurs de BMT une infrastructure moderne et même de répondre aux exigences les plus sévères en matière de qualité dans le traitement du conteneur.
- La mise à disposition d'une nouvelle technologie dans le traitement de conteneurs pour :

1. Un gain de productivité

2. Une réduction des coûts d'escale
 3. Une fiabilité de l'information.
 4. Un meilleur service productivité.
- Sauvegarder la marchandise des clients.
 - Faire face à la concurrence nationale et internationale.
 - Gagner des parts important du marché.

1.11 Atouts de BMT

BMT met à la disposition de ses clients une technologie et un savoir-faire dans le traitement du conteneur pour leur assurer :

- Une rade et un port non congestionné.
- Un tirant d'eau d'au moins de 12m.
- Des quais spécialisés pour le conteneur.
- Un personnel bien formé et motivé.
- Des moyens modernes pour une meilleure productivité.
- Des temps d'escale très réduits.
- Un guichet unique pour faciliter les procédures de transit en douane.
- Une traçabilité du conteneur pour un enlèvement rapide.
- Une organisation de transport du conteneur de bout en bout.
- Une capacité de stockage importante.
- Terminal entièrement sécurisé contre le vol et toute autre infraction.

1.12 Position du problème

La manutention portuaire, c'est des hommes d'expérience capables d'analyser, de concevoir et de réaliser les opérations les plus courantes comme le chargement et le déchargement

des navires. Pour garantir le bon déploiement de ces opérations, il est inévitable de modéliser une synchronisation en accord avec l'architecture globale du port, Il s'agit d'intégrer les activités de transport et les différents équipements de manutention. La sélection de ces équipements est très importante et elle influence beaucoup la performance d'un terminal à conteneurs.

Le problème que nous traitons dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'ordonnement des activités de manutention des conteneurs entre les quais et la zone de stockage, en utilisant les moyens de manutention nécessaires et disponible à l'entreprise BMT qui sont les grues, des équipements utilisés pour décharger les conteneurs des navires, les camions remorqueurs qui ont pour mission le transport des conteneurs à partir des quais, et les RTGs qui déchargent ces conteneurs des camions et les mettent dans les zones de stockage. Nous considérons une seule grue de quai (QC) et plusieurs camions portuaires.

L'objectif de ce travail est de déterminer une séquence d'exécution des opérations de déchargement des conteneurs qui minimise le temps total de manutention et le temps de séjour des navires dans le quai, donc améliore la qualité des services de BMT.

CHAPITRE 2

OPTIMISATION COMBINATOIRE ET TECHNIQUES DE RÉSOLUTION

Le désir humain de perfection trouve son expression dans la théorie de l'optimisation. Cette dernière étudie comment décrire et atteindre ce qui est meilleur, une fois que l'on connaît comment mesurer et modifier ce qui est bon et ce qui est mauvais.

La théorie de l'optimisation comprend l'étude quantitative des optimums et les méthodes pour les trouver). L'optimisation cherche à améliorer une performance en se rapprochant d'un point optimum.

2.1 C'est quoi l'optimisation ?

L'optimisation est une branche des mathématiques et informatique, en tant que discipline cherche à :

- Modéliser, Analyser, Résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes réels.

Elle consiste à déterminer quelles sont la où les solution(s) inconnues satisfaisant un objectif quantitatif, tout en respectant d'éventuelles contraintes.

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 (maximisation). Un problème d'optimisation se présentera sous la forme suivante :

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

Il est possible de passer d'un problème de maximisation à un problème de minimisation grace à la propriété suivante :

$$\max f(s) = - \min(f(s)), s \in S$$

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

2.1.1 Optimum global/ Optimum local

Une solution $x^* \in S$ est un optimum global d'un problème d'optimisation si et seulement si :

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

Soit A une partie de S, on dit que $x^* \in A$ est un optimum local, si et seulement si :

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

2.2 Optimisation Combinatoire

Généralement, on qualifie de combinatoires les problèmes dont la résolution se heurte à une explosion du nombre de combinaisons à explorer. C'est le cas par exemple lorsque l'on cherche à concevoir un emploi du temps : s'il y a peu de cours à planifier, le nombre de combinaisons à explorer est faible et le problème sera très rapidement résolu ; Cependant, l'ajout de quelques cours seulement peut augmenter considérablement le nombre de combinaisons à explorer de sorte que le temps de résolution devient excessivement long.

Un problème d'optimisation est une minimisation (ou maximisation) d'une certaine fonction :[17]

$$\text{Min } f(x), x \in S$$

où :

- x : le vecteur constitué de variables de décision, avec $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$, telle que :
 $S \in \mathbf{R}^n$;
- f : la fonction objectif ;
- $x \in S$: ensemble des solutions réalisable, avec *S fini*.

Si le problème consiste à minimiser f , alors il est équivalent à maximiser $-f$, car

$$\min f(x) = -\max(f(x))$$

2.3 Complexité des problèmes

La théorie de la complexité s'attache à classifier les problèmes selon leur difficulté relative à l'algorithme de résolution, on distingue deux grandes classes de problème (au terme de complexité), à savoir[2] :

- Les problèmes faciles.
- Les problèmes difficiles.

Les deux paramètres les plus importants pour mesurer la qualité d'un algorithme sont :

Dans le premier paramètre, on considère généralement qu'une instruction correspond à la

complexité d'un algorithme, correspond à peu près à une indication de temps qu'il est une opération élémentaire. Ce que l'on appelle la complexité en temps, ou simplement Son temps d'exécution et l'espace mémoire qu'il prendra pour résoudre un problème d'une taille donnée ; un ordre de grandeur du nombre d'instructions nécessaires à sa résolution.[2]

Définition 1 : Un algorithme est dit polynomial si le nombre d'opérations élémentaires nécessaires pour résoudre un problème de taille n est une fonction polynômiale en n , un algorithme est considéré efficace s'il est polynomial.

Les problèmes d'optimisation combinatoire peuvent être classifiés en trois classes : **P**, **NP** et **NP-Complets**. [2]

- Un problème est dit appartenant à la classe **P** s'il existe un algorithme polynomial pour le résoudre. On dit que les problèmes de la classe **P** sont faciles.
- Un problème est dit appartenant à la classe **NP** s'il peut être résolu en temps polynomial par un algorithme non déterministe.
- Un problème (**P**) appartient à la classe **NP** complet, si une solution de celui-ci peut être vérifiée en un temps polynômiale en (**P**). [9]

Citons la catégorie de certains problèmes classiques [2] :

Problèmes faciles

- Le problème d'affectation basique ;
- Le problème du flot maximum ;
- Le problème de transport ;

Problèmes Difficiles

- Le problème d'ordonnancement ;
- Le problème de coloration (sommets et arrêtes) ;
- Le problème du sac à dos ;
- Le problème de voyageurs de commerce (TSP) ;
- La programmation linéaire en nombre entier (PLNE) ; [2]

2.4 Les problèmes classiques d'optimisation combinatoire

2.4.1 Problème de transport

Soit à acheminer une quantité de marchandises à partir de m origines vers n destination. Au niveau de chaque origine i , il y a une disponibilité de a_i articles. La demande de la destination j est b_j . Le coût unitaire c_{ij} de l'expédition entre l'origine i et la destination j consiste à déterminer un plan de transport qui minimise le coût total, en tenant compte de l'offre et de la demande[?].

Les variables de décision

x_{ij} La quantité à expédier de l'origine i ; $i \in \{1, \dots, m\}$, vers la destination j ; $j = \{1, \dots, n\}$

Les contraintes

1. La disponibilité :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad a_i \geq 0 \quad i = \{1, \dots, m\}.$$

2. La demande :

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad b_j \geq 0 \quad j = \{1, \dots, n\}$$

3. fonction objectif :

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Le modèle :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad a_i \geq 0 \quad i = \{1, \dots, m\}. \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad b_j \geq 0 \quad j = \{1, \dots, n\}. \\ x_{ij} \in [0, 1] \quad i = \{1, \dots, m\} \quad j = \{1, \dots, n\}. \end{array} \right.$$

2.4.2 Problème d'affectation

Le problème d'affectation est un cas particulier du problème de transport dans lequel chaque source est affectée à une seule destination, il consiste à établir des liens entre les éléments de deux ensembles distincts, d'une façon à minimiser le coût en respectant des contraintes d'unicité de lien pour chaque élément. [13] Étant donné n tâches et n ouvriers. Une affectation consiste à affecter la tâche i à l'ouvrier j de façon [?] :

- Chaque ouvrier j ait une et une seule tâche.
- Chaque tâche i est attribuée à un seul ouvrier.

L'affectation d'une tâche i à un ouvrier j coûte C_{ij} . Le problème d'affectation consiste à trouver une affectation de coût minimum [?].

Les variables de décisions

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la tâche } i \text{ est affectée à l'ouvrier } j. \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les contraintes

- (a) Le nombre d'ouvriers affectés à la tâche i est 1.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i \in \{1, \dots, n\}.$$

- (b) Le nombre de tâches auxquelles est affecté l'ouvrier j est 1.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j \in \{1, \dots, n\}$$

Fonction objectif

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Le modèle

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i \in \{1, \dots, n\}. \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j \in \{1, \dots, n\}. \\ x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad j \in \{1, \dots, n\}. \end{array} \right.$$

2.4.3 Problème d'ordonnement :

L'ordonnement est la programmation dans le temps de l'exécution d'une série de tâches (activités, opérations) sur un ensemble de ressources physiques (humaines et techniques), en cherchant à optimiser certains critères, financiers ou technologiques, et en respectant les contraintes de fabrication et d'organisation [7]. Le problème d'ordonnement consiste à organiser dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu des contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînements,...) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises pour les tâches, [10] et visant à minimiser (resp maximiser) un certain critère d'optimalité. De manière plus précise, on parle d'ordonnement lorsqu'on parvient à fixer les dates de début et de fin de chacune des activités du projet.

[12]

Formulation du problème

les variable de decision :

t_i : la date de début d'exécution de la tâche i .

t_d : la date de début du projet.

t_f : la date de fin de projet.

Fonction objectif : L'objectif principale en gestion est de minimiser la durée du réalisation du projet qui représente l'écart entre la date de fin du projet et sa date de début :

$$\min Z = t_f - t_d = t_f ;$$

ou t_d est la date de debut de projet que l'on fixe généralement à $t_d=0$.

Les contraintes :

— **Les contraintes de localisation temporelle :** Aucune tâche ne peut commencer avant la date de début de projet :

$$t_i \geq 0 \quad i=1,2,\dots$$

- **Les contraintes de succession temporelle :** Exprimer que tout tâche i ne peut pas débuter avant que toutes ses tâches antérieures $j \in \Gamma^-(i)$ soient complètement achevées :

$$t_j + d_j \leq t_i \quad \forall j \in \Gamma^-(i) .$$

- **Les contraintes de fin de projet :** Toutes les tâches du projet doivent terminées avant la date de fin du projet t_f :

$$t_i + d_i \leq t_f \quad i=1, \dots, n.$$

Le modèle mathématique formulant le problème courant d'ordonnancement est le programme linéaire (PL) suivant :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{Min} Z = t_f & \\ t_j + d_j \leq t & \forall j \in \Gamma^-(i), i = 1, 2, \dots, n. \\ t_i + d_i \leq t_f, & i = 1, 2, \dots, n, \\ t_i \geq 0, & i = 1, 2, \dots, n. \end{array} \right.$$

2.5 Méthodes de résolution

2.5.1 Méthodes exactes

Dans les méthodes exactes toutes les solutions de l'espace de recherche sont énumérées implicitement en utilisant des mécanismes qui détectent des échecs (calcul de bornes). Grâce à ces méthodes on peut trouver des solutions optimales. Mais ces méthodes s'avèrent, malgré les progrès réalisés, plutôt inefficaces à mesure que la taille du problème devient importante. En effet, les méthodes exactes ont permis de trouver des solutions optimales pour des problèmes de taille raisonnable et rencontrent généralement des difficultés face aux applications de taille importante. Dans cette classe des méthodes exactes qui explorent l'espace de recherche de façon implicite, on peut citer :

- a Programmation dynamique : La programmation dynamique est une méthode ascendante : On commence d'habitude par les sous problèmes les plus petits et on remonte vers les sous problèmes de plus en plus difficiles. Elle est utilisée pour les problèmes

qui satisfont au principe d'optimalité de Bellman : "Dans une séquence optimale (de décisions ou de choix), chaque sous-séquence doit aussi être optimale". Un exemple de ce type de problème est le plus court chemin entre deux sommets d'un graphe. L'idée de base est d'éviter de calculer deux fois la même chose, généralement en utilisant une table de résultats déjà calculés, remplie au fur et mesure qu'on résout les sous problèmes. Il est noter que la programmation dynamique est utilisée pour résoudre des problèmes polynomiaux (et non NP-difficiles)[1].

b Branch and bound :

L'algorithme par séparation et évaluation, également appelé selon le terme anglo-saxon "branch-and-bound", est une méthode générique de résolution de problème d'optimisation, et plus particulièrement d'optimisation combinatoire ou discrete. C'est une méthode d'énumération implicite à l'aide d'une arborescence : toutes les solutions possibles du problème peuvent être énumérés, mais l'analyse des propriétés du problème permet d'éviter l'énumération de larges classes de mauvaises solutions potentiellement bonnes sont donc énumérées .

Le branch-and-bound est basé sur trois axes principaux :

- L'évaluation, la séparation, la stratégie de parcours.

2.5.2 Méthode 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[23].

Heuristiques Les heuristiques sont des méthodes empiriques basées sur des règles simplifiées pour optimiser un ou plusieurs critères. Le principe général de ces méthodes est d'intégrer des stratégies de décision pour construire une solution proche de l'optimum, tout en essayant de l'obtenir en un temps de calcul raisonnable[23].

Méta-heuristiques Les méta-heuristiques constituent des méthodes générales de recherche dédiées aux problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont en général présentées sous forme de concepts.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini l'optimisation combinatoire et nous avons présenté quelques problèmes classiques en particulier le problème d'ordonnancement qui consiste à organiser la réalisations des tâches dans le temps. Ceci nous permettra de modéliser le problème d'ordonnancement des activités de manutention dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 3

MODÉLISATION DU PROBLÈME D'ORDONNANCEMENT

Introduction

Les navires porte-conteneurs sont déchargés dans les terminaux maritime, ce système peut être divisé en plusieurs processus : lorsque le navire arrive au port, les grues de quai déchargent les conteneurs, puis les camions les transfèrent vers les zones de stockages où ils seront déchargés par les RTG.

Dans ce chapitre, nous allons traiter un problème d'ordonnancement de ces activités en considérant une seule grue (QC) et plusieurs camions de transport.

3.1 Les opérations de débarquement au niveau de BMT

Les opérations de débarquement au niveau du quai se font avec deux types de grues de quai les grues mobiles (MCH et Lihber) et les deux Quay Cranes (QCs).

Débarquement des conteneurs avec QCs :

Cela s'effectue avec une grue QC qui peuvent soulever le conteneur à partir du navire et de le mettre sur un camion remorqueur de la BMT.

Débarquement des conteneurs avec Grues :

Cela s'effectue avec les deux grues (MHC, LHM) qui peuvent soulever le conteneur à partir du navire et de le mettre sur le quai, puis le steaker va le charger sur un camion remorqueur de la BMT.

Le stockage :

Une fois le conteneur est débarqué sur le camion à remorque, il sera transporté vers le parc à terminal qui comporte cinq blocs. Chaque bloc est constitué de cinquante six piles et de six lignes et d'un gerbage de six niveaux au maximum. Le parc plein a une capacité de 10 300 clients EVPs, ou ils seront transportés au C.T.M.D (Centre De Transit Des Marchandises Dangereux) ou à la zone frigorifique s'il s'agit de reefer.

3.2 Affectation des équipements au niveau de BMT

3.2.1 Décision d'affectation des Grues de Quai

La décision d'affectation des Grues de quai (QCs ou Grues), est liée premièrement à la disponibilité des équipements, deuxièmement au nombre de navires accostés.

3.2.2 Décision d'affectation des Mols

Cette décision varie selon le nombre de navires accosté, dans le cas d'un seul navire accosté, le nombre de Mols affectés à un seul moyen de débarquement augmente, mais dans le cas de deux navires accostés en plus d'autres arrivages de l'EPB, le nombre de Mols par moyen diminue, car c'est BMT qui assure le transfert des conteneurs débarqués par L'EPB vers les blocs de stockage[15].

3.2.3 Affectations des RTGs

BMT possède cinq RTGs fonctionnels durant chaque shift de travail, elle emploie un RTG par bloc de stockage des conteneurs pleins. Un bloc de stockage contient les TCs débarqués et ceux destinés à la livraison au client final. Sachant qu'un TC doit passer par le processus visite avant qu'il soit livré. Les opérations de préparation visite et retour visite se font durant les shifts nuit, il y a pas de livraison au client final. Au final, on conclut que les RTGs servent trois types de clients, le client final, Mols affectés au débarquement et les Mols affectés à la zone visite (livraison à la zone visite ou retour de la zone visite).

Nous nous intéressons dans cette étude à la modélisation du problème d'ordonnancement d'une grue de quai (QC) qui aliment plusieurs camions portuaires qui transportent les conteneurs vers les zones de stockage dans le terminal à conteneurs BMT, ce problème se définit par quatres types d'éléments : les tâches à ordonnancer qui sont les activités de manutention des conteneurs entre le navire et la zone de stockage, les ressources qui sont les grus, les camions portuaires et les RTG, les contraintes qui sont liées à la capacité des ressources et au besoin de synchronisation entre les ressources quand la tâche se fait en plusieurs étapes. L'objectif est de minimiser le temps de mantention des conteneurs.

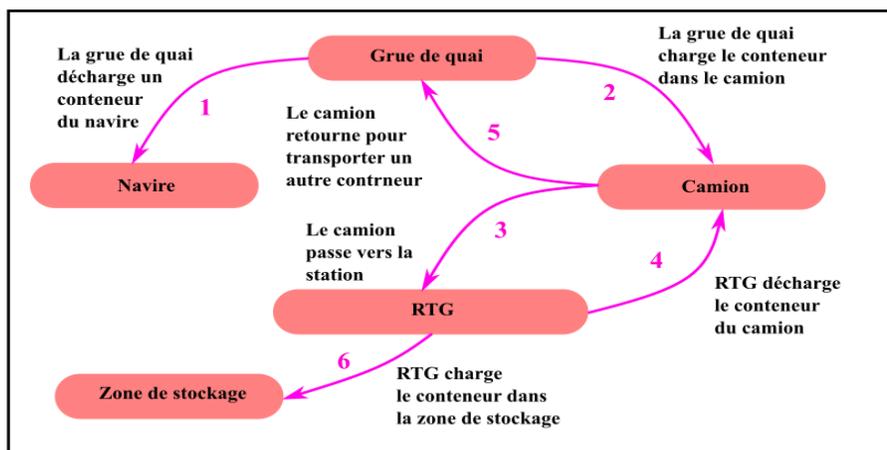


FIGURE 3.1 – Processus du manutention des conteneurs

3.3 Construction de modèle

Hypothèses

- Une seule grue de quai est considérée ainsi que plusieurs camions de transport.
- Tous les conteneurs sont similaires et ont la même largeur et la même hauteur.
- La grue de quai peut décharger au plus un conteneur à la fois.
- Chaque camion ne peut transporter qu'un seul conteneur à la fois.
- Chaque conteneur peut être transporté par au plus un camion.
- Nous ne prenons pas en compte le nombre des RTGs, nous supposons qu'il y a toujours un RTG disponible pour transférer un conteneur du camion au stock.

Données

- C : Ensemble de conteneurs, telle que $C = \{1, \dots, N\}$
- T : Ensemble de camions, telle que $T = \{1, \dots, M\}$
- C_i : Est le i^{me} conteneur $i \in \{0, \dots, N\}$
- C_j : Est le j^{me} conteneur qui suit le conteneur i ; $j \in \{1, \dots, N + 1\}$
- T_k : Est le k^{me} camion $k \in \{1, \dots, M\}$
- w_i : Temps pour décharger le conteneur C_i . t_{ij} : Temps de repositionnement de la grue de quai entre la mise du i^{me} conteneur dans le camion et début de déchargement du j^{me} conteneur. Pour tout $i \in \{1, \dots, N\}$ et $j \in \{1, \dots, N\}$
- λ_i : Temps de transport du conteneur i ($\forall i \in \{1, \dots, N\}$) par un camion jusqu'à la zone de stockage (identique au temps de retour (λ' au quai pour prendre le conteneur suivant)).
- f : Temps nécessaire à un RTG pour décharger un conteneur du camion de transport.
- V : Un nombre assez grand.

3.3.1 Variables de décisions

$A_{ij} = 1$ si la grue de quai décharge le conteneur j directement après le déchargement du conteneur $i \forall i \in \{0, \dots, N\}, \forall j \in \{1, \dots, N + 1\}$

0 sinon.

$$B_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si le conteneur } i \text{ est affecté au camion } k, \forall i \in \{1, \dots, N\}, \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$X_{ijk} = 1$ si le camion k transporte le conteneur j directement après avoir transporté le conteneur $i, \forall i \in \{1, \dots, N\}, \forall k \in \{1, \dots, M\}$

0 sinon

- s_i : date à laquelle la grue de quai commence à décharger le conteneur $i, \forall i \in \{1, \dots, N\}$.
- s'_i : date de début de transport du conteneur i par un camion, $\forall i \in \{1, \dots, N\}$ ($s'_0 = 0$).
- cp_i : date de fin de manutention du conteneur. $i, \forall i \in \{1, \dots, N\}$.
- C_{max} : date de fin de manutention de tous les conteneurs.

Le modèle mathématique

Objectif

$$\text{Min } C_{max} = Cp_i - S_i$$

Le but est de minimiser le temps total de manutention de l'ensemble des conteneurs affectés à la grue de quai, depuis le navire jusqu'à la zone de stockage.

Les contraintes

- Les contraintes suivantes assurent l'affectation de tous les conteneurs à la grue de quai et déterminent la séquence de déchargement du navire.

$$\begin{aligned}\sum_{i=0}^N A_{ij}=1 & \quad \forall j \in \{1, \dots, N+1\} \\ \sum_{j=1}^{N+1} A_{ij}=1 & \quad \forall i \in \{0, \dots, N\}\end{aligned}$$

- La contrainte suivante impose qu'un conteneur i est transporté par exactement un et un seul camion

$$\sum_{k=1}^M B_{ik} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}$$

- Les contraintes suivantes sont utilisées pour trouver le premier et le dernier conteneur qui seront transportés par chaque camion

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^{N+1} X_{0jk}=1 & \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ \sum_{i=0}^N X_{i,N+1,k}=1 & \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}\end{aligned}$$

- Les contraintes suivantes assurent que pour chaque conteneur transporté par le camion, il y'a un conteneur qui le précède et un autre qui le suit.

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^{N+1} X_{ijk} - B_{ik} = 0 & \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ X_{ijk} - B_{jk} = 0, & \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}.\end{aligned}$$

- Les contraintes suivantes déterminent les conteneurs qui doivent être placés par le même camion.

$$\begin{aligned}X_{ijk} + X_{jik} \leq 1 & \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}. \\ X_{ijk} + X_{jik} - B_{ik} - B_{jk} \leq 1 & \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}\end{aligned}$$

- La contrainte qui garantit qu'il y'a un temps à vide t_{ij} avant de commencer le déchargement de conteneur j après le déchargement de conteneur i .

$$s_j + (1 - A_{ij}) \times V - t_{ij} - s'_i \geq 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}$$

- La contrainte qui garantit que chaque conteneur ne peut être transportée par un camion qu'après avoir être déchargé du navire par la grue de quai.

$$s'_i \geq s_i + w_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}$$

- Les contraintes qui établissent la relation entre les dates de fin de transport et de début de transport de deux conteneurs déplacés successivement par un même camion.

$$\begin{aligned} s'_j + (1 - X_{ijk}) \times V &\geq cp_i + \lambda_i & \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ s'_j + (1 - X_{0jk}) \times V &\geq 0 & \forall j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \end{aligned}$$

- La contrainte qui vérifie que chaque conteneur subit des temps de transport par un camion puis de gerbage par un RTG après son déchargement par la grue.

$$s'_i + \lambda_i + f \leq cp_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}$$

- La contrainte calcule la date de fin de manutention du dernier conteneur.

$$C_{max} \geq cp_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}$$

- Les contraintes qui définissent le domaine des variables de décision sont donnée comme suite :

$$\begin{aligned} A_{ij} &= [0, 1] & \forall i \in \{1, \dots, N\}, & \quad \forall j \in \{1 \dots N + 1\} \\ B_{ik} &= [0, 1] & \forall i \in \{1, \dots, N\}, & \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ X_{ijk} &\in \{0, 1\}, \forall i \in \{1, \dots, N\}, & \quad \forall j \in \{1, \dots, N + 1\}, & \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ & & s_i, s'_0, cp_i & \in \mathbf{R} \end{aligned}$$

Le modèle

$$\left\{ \begin{array}{l}
 Min C_{max} \\
 \sum_{i=1}^N A_{ij} = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N+1\} \\
 \sum_{j=1}^{N+1} A_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \\
 \sum_{k=1}^M B_{ik} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \\
 \sum_{j=1}^{N+1} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\
 \sum_{i=1}^N X_{i,N+1,k} = 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\
 \sum_{j=1}^{N+1} X_{ijk} - B_{ik} = 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\
 \sum_{i=1}^N X_{ijk} - B_{jk} = 0, \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}. \\
 X_{ijk} + X_{jik} \leq 1 \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}. \\
 X_{ijk} + X_{jik} - B_{ik} - B_{jk} \leq 1 \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\
 s_j + (1 - A_{ij}) \times V - t_{ij} - s'_i \geq 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \\
 s'_i \geq s_i + w_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \\
 s'_j + (1 - X_{ijk}) \times V \geq cp_i + \lambda_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\}
 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} s'_j + (1 - X_{0jk}) \times V \geq 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ s'_i + \lambda_i + r \leq cp_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \\ C_{max} \geq cp_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \\ A_{ij} = [0, 1] \quad \forall i \in \{0, \dots, N\}, \quad \forall j \in \{1 \dots N + 1\} \\ B_{ik} = [0, 1] \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ X_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall i \in \{0, \dots, N\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, N + 1\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, M\} \\ s_i, s'_0, cp_i \in \mathbf{R} \end{array} \right.$$

3.3.2 Exemples numériques

Exemple 1



FIGURE 3.2 – Le processus de manutention

Nous donnons un exemple d'ordonnancement pour quatre conteneurs et un camion de transport. l'ordre est 1234

Conteneur	Durée de manutention
1	$W_1 + \lambda_1 + f = 7$
2	$W_2 + \lambda_2 + f = 8$
3	$W_3 + \lambda_3 + f = 8$
4	$W_4 + \lambda_4 + f = 7$

TABLE 3.1 – Durées de manutention de chaque conteneur

$$C_{max} = w_1 + \max(t_{12} + w_2; \lambda_1 + f + \lambda'_1) + \max(t_{23} + w_3; \lambda_2 + f + \lambda'_2) + \max(t_{34} + w_4; \lambda_3 + f + \lambda'_3) + \lambda_4 + f = 31$$

D'après cet exemple, nous constatons que le temps de repositionnement de la grue n'impacte pas sur l'évaluation globale, dans la mesure où elle est inférieure au temps de transport du camion.

D'autre part, en pratique sur les quais. On applique de sécurité, et interdisant un conteneur reste en suspend au dessus du quai sans camion pour le réceptionner.

Donc la grue ne commencera pas un nouveau déchargement, que si un camion est déjà présent. Cette contrainte est dite une contrainte de sécurité qui n'est pas prise en compte dans ce modèle.

Exemple 2

Dans le second exemple ; on prend 4 conteneurs, 2 camions de transport et une grue. Nous supposons que l'ordre de déchargement est comme suit 1234.

On a :

- $W_1 = W_4 = 2$;
- $W_2 = W_3 = 3$
- $t_{12} = t_{34} = 2$
- $t_{23} = 4$.
- $\lambda_i = 3 = \lambda'$

— $f=2$

Nous avons schématisé la situation comme suit :

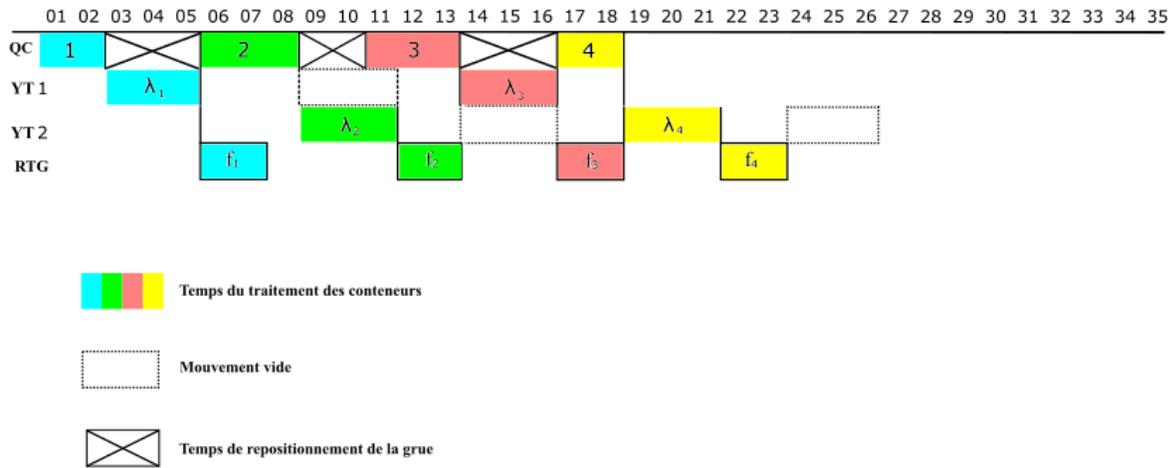


FIGURE 3.4 – Exemple avec quatre conteneurs et deux camions

Nous calculons :

Manutention du conteneur 1 :

$$dm_1 = w_1 + \lambda_1 + f = 2 + 3 + 2 = 7$$

$$cp_1 = s_1 + dm_1 = 0 + 7 = 7$$

Manutention du conteneur 2 :

$$dm_2 = w_2 + \lambda_2 + f = 3 + 3 + 2 = 8$$

$$cp_2 = s_2 + dm_2 = 6 + 8 = 14$$

Manutention du conteneur 3 :

$$dm_3 = w_3 + \lambda_3 + f = 3 + 3 + 2 = 8$$

$$cp_3 = s_3 + dm_3 = 11 + 8 = 19$$

Manutention du conteneur 4 :

$$dm_4 = w_4 + \lambda_4 + f = 2 + 3 + 2 = 6$$

$$cp_4 = s_4 + dm_4 = 17 + 6 = 23$$

La solution optimale est :

$$C_{max} = \text{Max}(cp_1, cp_2, cp_3) = 23$$

Remarque :

Dans le cas où la grue de quai ne décharge pas les conteneurs selon l'ordre, ou elle décharge des conteneurs éloignés, le temps de repositionnement de la grue augmente donc la manutention prendra plus de temps.

3.3.3 La complexité du problème :

Le problème d'ordonnement des activités du manutention des conteneurs pour une seule grue à quai et plusieurs camions de transport est classifié parmi les problèmes NP-difficiles et NP-complet, car c'est un problème de programmation linéaire en nombre entier, et comme celui-ci est NP-difficile alors ce problème est aussi NP-difficile.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu le modèle mathématique du problème qu'on a étudié, puis nous avons donné deux exemples numériques pour bien comprendre le fonctionnement de notre modèle.

CHAPITRE 4

IMPLÉMENTATION ET RÉOLUTION

4.1 CPLEX

CPLEX est un outil informatique d'optimisation et de programmation mathématique commercialisé par IBM (International Business Machines Corporation) depuis son acquisition de l'entreprise française ILOG en 2009. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe.[\[21\]](#)

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)
- 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.

Par défaut c'est le solveur CPLEX qui est activé.

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.

4.2 Choix de langage

L'outil informatique utilisé dans la recherche de la solution du problème étudié le solveur CPLEX. Nous avons choisi l'utilisation de langage OPL.

Définition

Le langage utilisé dans Cplex Studio IDE est OPL (Optimization Programming Language). Il s'agit d'un langage de modélisation qui permet décrire 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.[21] 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)

Premiers éléments

OPL connaît les types entiers (int), entiers positifs (int+), flottants (float) et flottants positifs (float+).

- Les variables de décision se définissent en utilisant le mot clé dvar suivi de leur type
- La fonction objectif est précédée du mot clé "minimize" ou "maximize" une fonction du sens d'optimisation.
- Les contraintes sont dans un bloc entre accolades et précédées des mots clés "subject to"
- Les principaux opérateurs numériques et logiques sont +, -, *, / pour l'addition, la soustraction, la multiplication et la division, div et mod pour la division entière et le modulo, <=, >= et == pour les comparaisons, les commentaires sont soit entourés de /* ... */ (comme en C), soit précédé de // (comme en C++) s'ils sont sur une seule ligne.

4.2.1 Création du projet :

- Tout d'abord il faut créer un projet OPL dans lequel on pourra définir notre modèle. Pour cela dans Cplex Studio il faut cliquer sur Fichier → Nouveau → Projet OPL.
- Une fenêtre s'ouvre : entrez un nom de projet, choisissez son emplacement (dossier parent) et cochez "Création d'un modèle" ainsi que "ajouter une configuration d'exécution par défaut".

NB : Si vous oubliez de cocher les cases "modèle" ou "configuration d'exécution par défaut" vous avez toujours la possibilité de créer les fichiers correspondant dans Fichier / Nouveau, même après la création du projet.

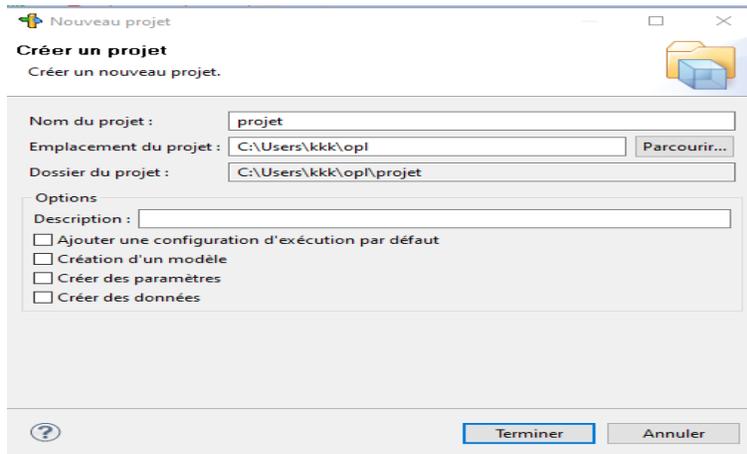


FIGURE 4.1 – Fenêtre des options de modèle

Résolution

Pour lancer la résolution il faut faire un clic droit sur "Configuration d'exécution" dans l'onglet Projets OPL situé à gauche de la fenêtre principale puis "exécuter / configuration d'exécution par défaut". Le bouton exécuter dans la barre d'outils permet de lancer une nouvelle fois la dernière configuration exécutée.

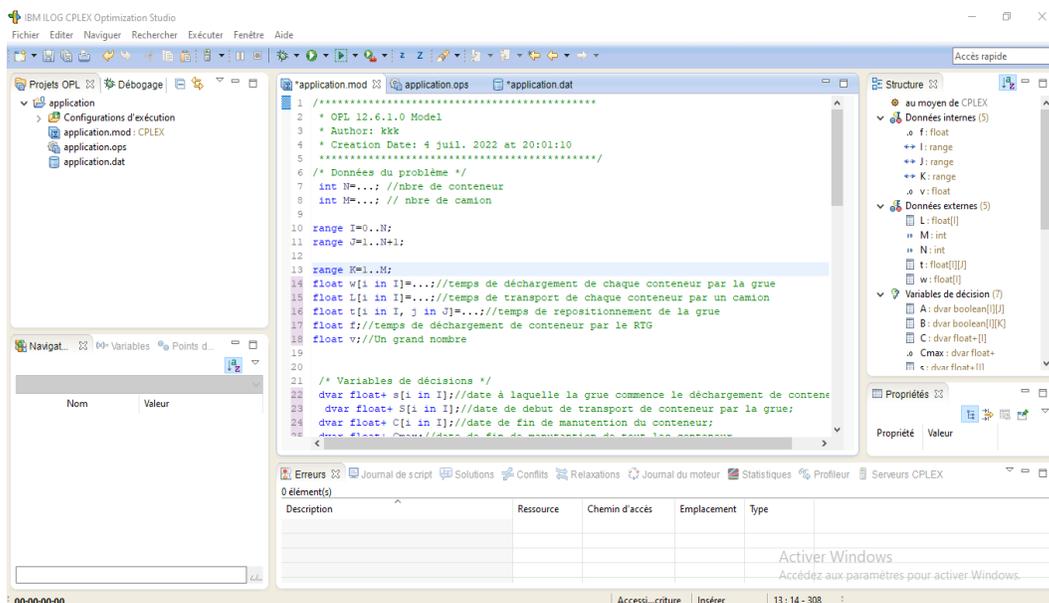


FIGURE 4.2 – Schéma d'exécution de modèle

4.2.2 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.

$$C=4$$

$$T=1$$

$$W=(5,4,5,6)$$

$$t = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 0 & 4 & 5 \\ 3 & 3 & 0 & 5 \\ 3 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\lambda = (7, 7, 7, 7)$$

$$r=5$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B=(1,1,1,1)$$

$$c=(20,39,58,77)$$

$$cp=(32,51,70,89)$$

$$s=(15,35,53,71)$$

$$s' = (15, 20, 39, 58, 77)$$

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 5 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \\ 1 & 5 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 4 & 1 & 0 \\ 2 & 5 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 3 & 1 & 0 \\ 3 & 4 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 1 & 0 \\ 4 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 1 & 0 \\ 4 & 4 & 1 & 0 \\ 4 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C_{max}=89$$

4.3 Interprétation des résultats :

Pour bien comprendre le fonctionnement du modèle développé, nous avons utilisé le CPLEX, pour avoir le meilleur ordonnancement possible de déchargement des conteneurs par un seul camion du transport et le temps de manutention optimal.

L'application du modèle prend en charge :

- l'ordre avec lequel les conteneurs seront déchargés par le camion.
- La date de début et la date de fin de manutention de chaque conteneur.
- La date de début de transport de chaque conteneur.
- La date d'arrivée de camion à la zone de stockage durant le transport de chaque camion.
- La date de fin de manutention de chaque conteneur.
- La date de fin de manutention du dernier conteneur.

La date de fin de manutention dépend de la cadence de la grue par rapport aux nombre des camions disponibles. Donc, de ce fait le modèle développé répond correctement au problème de minimisation de temps de manutention au niveau de BMT.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour l'étude de problème d'optimisation intégré sur l'ordonnancement de déchargement des conteneurs et le transport par un seul camion dans le terminal à conteneurs BMT.

Un modèle de programmation linéaire a été formulé. Ce modèle est un problème de complexité NP-difficile. Pour le résoudre des instances de ce dernier, nous l'avons implémenté sur le solveur CPLEX, Les résultats valident l'efficacité du modèle proposé. ceci nous a permis de minimiser les temps de manutention.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La conteneurisation est un puissant facteur d'intégration inter-modale, permettant aux mode de transport maritime de s'interconnecter plus efficacement. toutefois, pour faire face à l'énorme croissance des échanges conteneurisés dans le monde, tous les processus opérationnels de manutention doivent être repensés et correctement optimisés.

Les problèmes d'ordonnancement ont fait l'objet d'une grande attention au cours des décennies passées, en raison de leur importance pour l'efficacité de la gestion opérationnelle des systèmes.

Notre étude s'est portée essentiellement sur l'entreprise BMT et plus précisément sur le processus de manutention des conteneurs sur le terminal de BMT.

Dans cette étude, nous avons modélisé une situation réelle qui est l'organisation des activités de manutention des conteneurs, où nous avons proposé un modèle mathématique en considérant une seule grue de quai et plusieurs camions de transport.

L'objectif de ce travail est de déterminer un ordonnancement minimiser le temps total des opérations subies successivement par les conteneurs.

Pour cela, nous avons procédé en plusieurs étapes, premièrement, on a présenté l'entreprise de BMT Où on a effectué notre stage, deuxièmement, nous avons rappelé quelques notions d'optimisation combinatoire, et nous avons consacré le troisième chapitre pour la modélisation du problème sous forme d'un problème d'ordonnancement avec un seul navire, une

seule grue de quai et plusieurs camions de transport, et en considérant les temps de repositionnement de la grue, ainsi que, d'autres contraintes afin de prendre en compte les temps de déchargement des conteneurs.

Ce modèle nous a permis de dégager une résolution du problème d'affectation des conteneurs aux camions de transport, et en se servant d'un outil de résolution qui est le solveur CPLEX. Enfin nous avons présenté quelques résultats numériques de ce problème qui est globalement rencontré dans tous les ports maritimes (à conteneurs).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] I. Alaya, Optimisation multi-objectif par colonies de fourmis Cas des problèmes de sac à dos. PhD thèse, Université Claude Bernard Lyon1, 2009.
- [2] S. Allek et H. Zouar, minimisation du temps d'attente des navires conventionnels Cas du port de Béjaia, Université de Béjaia, 2015.
- [3] Z. Bourbia, Le suivi du traitement des conteneurs au sein de BMT, rapport de stage, 2010.
- [4] H.J. Carlo et I.F.A. Vis et K.J. Roodbergn, Storage yard operations in container terminal, Literature overview, trends and research directions, European journal of operational research, 2013.
- [5] K. Chebli, Optimisation des mouvements des conteneurs dans un terminal maritime, mémoire de maîtrise en sciences appliquées, Université de Monreal, 2011.
- [6] D. Dai et R. Fartas, Modélisation et optimisation du temps de manutention au niveau de BMT, mémoire de master, Université de Béjaia, 2017.
- [7] S.M. Douiri et S. Elbernoussi et H. Lakhbab, cours des méthodes de résolution exacte heuristique et métaheuristique, Université de Mohammed 5, faculté des sciences de Rabat laboratoire de Recherches mathématiques, informatique et application, 2008.
- [8] J. Dreo, A. Petrowski, P. Siarry, E. Taillard. Métaheuristiques pour l'optimisation difficile. EYROLLES, pp.356, 2003.

- [9] M. Gondran, Problème d'ordonnancement et de moyens de transport des systèmes de production : prise en compte de la qualité de service, Université Clermont Auvergne, École doctorale des Sciences Pour l'Ingénieur de Clermont-Ferrand, 2019.
- [10] O. Kone, Nouvelles approches pour la résolution du problème d'ordonnancement de projet à moyens limités, thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [11] R.F. Lemaire et Ch. Picoueau, Précis de recherche opérationnelle, Dunod, Paris, 2014.
- [12] N. Mahfouf et B. Ramdani, planification et ordonnancement d'un projet à moyens limités au sein de l'engtp, mémoire de Master, université de Boumerdes, 2017.
- [13] C. Mansel, Modélisation et résolution de problèmes d'optimisation combinatoires issus d'applications spatiales, thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2005.
- [14] K. Mesghouni, Application des algorithmes évolutionnistes dans les problèmes d'optimisation en ordonnancement de la production, thèse PhD, Université de Lille1, 1999.
- [15] A. Mesrour, R.tebri, Contribution à la modélisation et l'évaluation de performances du terminal à conteneurs BMT, mémoire master, Université de Béjaia, 2016.
- [16] F. Meunier, Introduction à la recherche opérationnelle, Université Paris Est, Cermics, Ecole des Ponts Paritech, 6-8 avenue Blaise Pascal, 77455 Marne-la-Vallée Cedex, 2011.
- [17] M. Nakhla and J.C. Moisdon. Recherche opérationnelle : Méthodes d'optimisation en gestion, Presses des MINES, 2010.
- [18] M. Nasserredine, Algorithme de construction de graphe dans les problèmes d'ordonnancement de projet, thèse de doctorat, université Farhat Abbas-sétif, 2011.
- [19] N.F. NDIAYE, Algorithme d'Optimisation pour la Résolution du Problème de Stockage de conteneurs Dans un Terminal portuaire, Université de Havre, 2015.
- [20] Y.A. Saanen et R. Dekker, Intelligent stacking as way out of congested yards, part 1, Port Technol Int, vol.32, pp.80-85,2007.
- [21] H. Toussaint, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio : une introduction à OPL et CPLEX, 2019.

- [22] F. Yahi et H. Azzouz, Impact du système des fenêtres d'accostage sur les performances du terminal à conteneurs BMT, mémoire de master, 2021.
- [23] Z. Zoubeir, Vers un système d'aide à la décision pour l'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs, PhD thesis, Université de Havre, 2014.

Résumé

Plusieurs problématiques inhérentes au problème de transport des conteneurs ont été révélés durant les dernières années. Parmi ces problèmes, nous citons Quay Crane and Yard Truck Scheduling Problem (QCYTSP) ou l'ordonnancement des grues de quai et camions de transport auquel nous nous intéressons dans ce mémoire, mais en considérant une seule grue (Qc) et plusieurs camions.

L'objectif principal de ce travail concerne la réduction du temps de manutention des conteneurs, en exploitant les méthodes de recherche opérationnelle. Il consiste à résoudre un problème d'optimisation combinatoire qui est l'ordonnancement des camions qui transportent des conteneurs déchargés par une seule grue de quai, ou organiser les activités de transfert des conteneurs entre un navire et une zone de stockage.

Pour pallier à ce problème une modélisation mathématique a été élaborée et les différents processus ont été décrits. Les résultats obtenus par Cplex ont permis de déterminer une affectation optimale des camions.

Mots clés : Ordonnancement, conteneurs, optimisation combinatoire, cplex.

Abstract

Several problems inherent in the problem of container transport have been revealed in recent years. Among these problems, we cite the Quay Crane and Yard Truck Scheduling Problem (QCYTSP) or ordonation of quay cranes which we are interested in this thesis, but considering quay crane and several trucks.

The main objective of this work concerns the reduction of container handling time, by using operational research methods. It consists in solving a combinatorial optimization problem which is the scheduling of trucks that transport containers unloaded by a single quay crane, or organize the transfer activities of the containers between a ship and a storage area.

To overcome this problem, a mathematical modeling has been developed and the different processes have been described. The results obtained by Cplex solver determined an optimal allocation of trucks.

keywords : Scheduling, containers, combinatorial optimization, cplex.
