

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة سعيدة د. مولاي الطاهر

كلية العلوم
قسم: الإعلام الآلي



Mémoire de Master

Spécialité: Réseau et système Réparti.

Thème

Une solution du réseau de transport
pour une Optimisation Logistique
Cas d'étude :BMT

Présenté par:

Bouras Asma

Dirigé par:

Me.Derkaoui.Orkia



Promotion 2023 - 2024

Remerciements

J'aimerais exprimer ma plus profonde gratitude à:

Madame Derkkaoui Orkia, ma professeure, ma superviseure et ma seconde mère, pour son soutien indéfectible, ses conseils précieux et sa bienveillance constante. Elle a joué un rôle crucial dans mon parcours scolaire et personnel, et je lui suis infiniment reconnaissante pour tout ce qu'elle a fait pour moi.

Je suis reconnaissante d'avoir des parents aussi aimants et dévoués, une professeure aussi formidable et des amis si précieux dans ma vie. Ils sont tous des sources d'inspiration et de soutien inestimables, et je leur dois tout ce que je suis aujourd'hui.

Merci du fond du cœur à tous ceux qui ont contribué à mon succès et à mon bonheur.

Dédicace

A mes chers parents, source de vie, d'amour et d'affection ; A mes chers frères et sœurs,
source de joie et de bonheur

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1: Principales caractéristiques des conteneurs.....	8
Tableau2:Les équipements de BMT [8]	11
Tableau3:Les différents Problèmes de stockage de conteneurs aux niveaux de BMT	13
Tableau 4: récapitulatif des travaux liés à l'étude du problème de stockage des conteneurs	20
Tableau5:Paramètres.	23
Tableau6:Description des instances.	31
Tableau7: le Temps d'exécution de Branch and bound.....	31
tableau8: les valeurs pratique de l'algorithme BC.....	32
Tableau9: Plan optimal de stockage fournit par le programme BC pour la date de déchargement 26/06/2024.....	33
Tableau10:l'espace occupé.	35
Tableau11: l'emplacement de conteneur dans chaque étage	38
Tableau12:La comparaison entre la méthode exacte et la méthode colonies d'abeilles.	39

LISTE DE FIGURE

Figure 1 : Chaîne Logistique [18].....	5
Figure2: Les différents types de conteneurs.....	8
Figure3: création de BMT. [8].....	9
Figure4:structure organisationnelle de BMT. [8]	10
Figure5:Les blocs de stockage des conteneurs. [8].....	12
Figure 6 : Grue de quai. . [6]	16
Figure7: Rail-Mounted Gantry Crane (RMGC). [6]	16
Figure8 : Rubber-Tyred Gantry Crane (RTGC) [6].....	17
Figure9:les méthodes de résolution de psc.	19
Figure10 :Principe générale de B&B.....	27
Figure11:différentes étapes de colonie d'abeille.....	29
Figure12: L'implémentation de colonies d'abeilles.	34
Figure13:Les étapes de colonies d'abeilles	35
Figure14:L'espace occupé dans bloc1	36
Figure15:L'espace occupé dans bloc 5	36
Figure16:les résultats de tableau 8	37

LISTE DES ABREVIATIONS

BMT: Bejaia Mediterranean Terminal.

ZEP: Zone d'empilage Prioritaire.

BC: Bee colony.

B&B: Branch and Bound.

PSC: Problème de stockage de conteneur.

NP-difficile : Non Polynomial-difficile.

TABLE DES MATIERES

liste des tableaux	I
Liste de figure	II
Introduction Générale	1
1 Transport maritime et Conteneurisation.....	5
1.1 Le Transport maritime	5
1.1.1 Introduction	5
1.1.2 Définition.....	6
1.1.3 Historique	6
1.1.4 L'importance de transport maritime.....	6
1.2 La conteneurisation.....	7
1.2.1 Définition de conteneur	7
1.2.2 Histoire de la conteneurisation.....	7
1.2.3 Description et propriétés du conteneur.....	7
1.2.4 Caractéristiques du conteneur	8
1.2.5 La nécessité du conteneur	8
1.3 Cas d'étude	9
1.3.1 Introduction	9
1.3.2 Définition de BMT	9
1.3.3 Création de BMT	9
1.3.4 Les apports de chaque partie [8]	10
1.3.5 Les équipements.....	11
1.3.6 Les service de BMT	11
1.3.7 La zone de stockage de conteneur aux niveau BMT	12
1.3.8 Les différents Problèmes de stockage de conteneurs aux niveaux de BMT	13
Conclusion	13
2 Problème de stockage de conteneurs	15
Introduction.....	15
2.1 Description et rôles des terminaux à conteneurs.....	15
2.2 Matériel de manutention:	15
2.3 Le stockage de conteneurs.....	17
2.4 Les différentes stratégies de stockage [7].....	17
2.4.1 Ségrégation et Non-ségrégation	17

2.4.2	Groupage et Despresion	18
2.4.3	Le stockage direct et indirect	18
2.4.4	Priorité aux déchargements et Priorité aux chargements.....	18
2.5	La complexité du problème :	19
2.6	Les méthodes d'optimisation pour la résolution de PSC.....	19
2.6.1	Les méthodes exactes	19
2.6.2	Les méthodes approchées	19
2.7	L'état de l'art.....	20
2.8	Modélisation mathématique de problème de stockage de conteneur	23
	Conclusion.....	24
3	Les solutions proposées pour la résolution de PSC.....	26
	Introduction	26
3.1	La méthode exacte(Branch and bound)	26
3.1.1	Principe de la méthode B&B.....	26
3.2	Méthode Colonies d'abeilles :	27
3.2.1	Les Principes.....	28
3.2.2	Les paramètres importants :.....	30
3.3	Résultats et discussion	30
3.3.1	Les outils software et hardware de développement.....	30
3.3.2	Résultats de Branch and bound.....	31
3.3.3	Résultat de Colonies d'abeilles :	32
3.4	Comparaison de Résultats	39
	Conclusion	40
	Conclusion Générale et perspectives.....	42
	Bibliographie.....	43

Introduction Générale

Introduction Générale

Contexte du travail

Le transport maritime joue un rôle important dans le développement de l'économie mondiale et la mondialisation des affaires : il coordonne le chargement et le déchargement des conteneurs dans les ports et constitue un maillon clé de la chaîne logistique. [1]

Le développement du commerce international dépend de l'efficacité du système de transport maritime, qui repose sur les stratégies mises en œuvre par les acteurs du secteur du transport, qu'ils soient armateurs, constructeurs navals, compagnies d'assurance ou banques. Depuis l'apparition des conteneurs dans les années 1950, un réseau international s'est développé, standardisant les normes d'expédition et révolutionnant le transport.

Ces progrès ont contribué à l'accélération du transport de marchandises. Il existe un mouvement de croissance mutuel entre le commerce international et le transport de conteneurs, et le transport de conteneurs représente donc 80 % du mouvement maritime de marchandises diverses.

La transformation des marchandises en conteneurs contribue au transport de grandes quantités de marchandises sur de longues distances et à moindre coût. Elle rend cette transformation une possibilité technologique pour gérer ces flux, contrôlés en termes de temps, d'espace et de coût. Unification des conteneurs a ouvert de nouvelles perspectives pour leur développement en tant que moyen d'emballage pour le transport intermodal. Au début, les conteneurs étaient transportés à bord de navires de fret traditionnels, que ce soit sur le pont ou dans les cales. Ensuite, pour faire face à l'augmentation de ce type de trafic, des navires spécialisés, appelés porte-conteneurs, ont émergé au début des années 1970. [2]

Malgré tout ce développement et prospérité, le stockage des conteneurs reste un défi majeur, exacerbé par la croissance explosive du trafic maritime et l'espace limité disponible dans les ports.

Aujourd'hui, les opérations de transfert d'un mode de transport à un autre demeurent l'élément clé d'un système de transport performant. Parmi ces points de transfert, les terminaux portuaires de conteneurs sont généralement identifiés comme un maillon important de la chaîne logistique globale de bout en bout.

La gestion d'un terminal à conteneurs portuaire a une importance primordiale pour l'amélioration du transfert de marchandises dans une chaîne logistique globale de bout en bout, De par leur diversité et leur difficulté, les problèmes logistiques sont nombreux, on cite entre autres le problème **stockage de conteneurs**.

La compétitivité du terminal se reflète principalement dans l'efficacité du transbordement due aux charges payées par le navire qui dépendent du délai de livraison et du nombre de conteneurs chargé et déchargés au terminal. C'est dans ce contexte que rentre notre étude. Nous étudions le problème de stockage de conteneurs

Introduction Générale

Problématique

L'optimisation du stockage des conteneurs est un enjeu crucial pour la compétitivité des ports et la performance de la chaîne logistique globale. De nouvelles technologies et des solutions innovantes émergent pour répondre à ce défi. Nous nous intéressons au problème de stockage de conteneurs. Ce dernier consiste à déterminer des emplacements de stockage adéquats pour les conteneurs qui arrivent dans un terminal et qui y séjournent temporairement. Une résolution efficace de ce problème nécessite la prise en considération des contraintes réelles du terminal, telles que le type d'équipement de transfert et de manutention utilisé ainsi que la configuration de la cour de stockage. Outre ces contraintes, il est aussi important d'assurer l'accessibilité de chaque conteneur au moment de sa date de départ, car des opérations supplémentaires peuvent être nécessaires pour déplacer les objets encombrants si tel n'est pas le cas, c'est le problème de remaniements. Un stockage efficace des conteneurs sans remaniements minimise le temps de séjour de navires dans le port, donc nous économisons d'une façon indirecte sur le coût du transport

Deux cas de stockage existent dans un terminal portuaire, à savoir : le cas statique et le cas dynamique. Dans le premier, on considère que tous les conteneurs sont arrivés au terminal avant le début des opérations de stockage ; alors que dans le second, on prend en considération les conteneurs qui ne sont pas encore arrivés au terminal au début des opérations de stockage mais qui vont arriver durant l'horizon de planification. Dans notre étude, on considère le cas statique pour le déchargement des conteneurs.

Nous traitons comme cas d'étude le Problème de stockage des conteneurs au niveau du port de Béjaïa et examinons les principaux problèmes de stockage rencontrés.

Approche proposée

Parmi les aspects les plus significatifs qui motivent notre étude de ce cas, il y a l'accent mis sur l'importance stratégique d'une planification efficace du stockage des conteneurs dans la logistique portuaire. Pour résoudre le problème de stockage de conteneurs, nous proposons dans ce mémoire, une application qui a pour objectif de faciliter la gestion de quantités importantes de conteneurs en fournissant en des temps raisonnables de très bons plans de stockage. Nous prélevons les différentes contraintes physiques et opérationnelles liées au problème, et on propose un modèle mathématique de stockage de conteneurs. Après cela, nous utilisons des algorithmes de résolution de ce modèle. Une méthode exacte branch and bound est utilisée. La solution de cette dernière est de bonne qualité car elle est optimale mais elle est coûteuse en complexité lorsque le nombre de conteneurs augmente. Donc, on propose l'utilisation d'une méthode approchée méta- heuristique qui fournit une solution assez bonne avec un temps raisonnable et pratique.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est constitué d'une introduction générale et trois chapitres :

Chapitre1 : Le transport Maritime et la conteneurisation, dans ce chapitre nous allons tout d'abord évoquer la notion de la conteneurisation et le transport maritime, en donnant la définition d'un conteneur, ses types ainsi que l'importance de transport maritime.

Chapitre2 : Le problème de stockage de conteneur, ce chapitre comprend la représentation du modèle associé au problème de stockage des conteneurs, les différentes stratégies de stockage, une présentation de l'entreprise gérant le terminal à conteneur du port de Bejaia BMT, en précisant son historique, sa structure organisationnelle, les opérations et les outils de la gestion du terminal.

Chapitre 3 : Les solutions proposées pour la résolution de PSC (colonies d'abeilles et Branch and bound).

Chapitre 01

Transport Maritime et Conteneurisation

1 TRANSPORT MARITIME ET CONTENEURISATION

1.1 Le Transport maritime

1.1.1 Introduction

Le transport maritime est l'élément le plus important du commerce international et l'une de ses fonctions est de faciliter la circulation des marchandises à travers les océans du monde. Ce mode de transport offre une capacité énorme et une efficacité logistique inégalée pour déplacer des marchandises de toutes tailles, des matières premières en vrac aux produits manufacturés finis. Au cœur de l'industrie se trouve le conteneur, une innovation révolutionnaire qui a changé la façon dont les marchandises sont emballées, expédiées et livrées dans le monde entier.

Dans ce chapitre, nous explorerons la pertinence du transport maritime pour le développement du commerce et de l'économie mondiale ainsi que son histoire. Nous examinerons également les aspects clés du transport maritime, notamment son histoire, son importance économique, ses infrastructures, ses défis et ses tendances actuelles. De plus, nous approfondirons les tenants et les aboutissants des conteneurs maritimes, en examinant leur conception, leur utilisation généralisée, leurs avantages et leurs implications pour le commerce mondial.

La transport maritime est un maillon important dans une chaîne logistique.

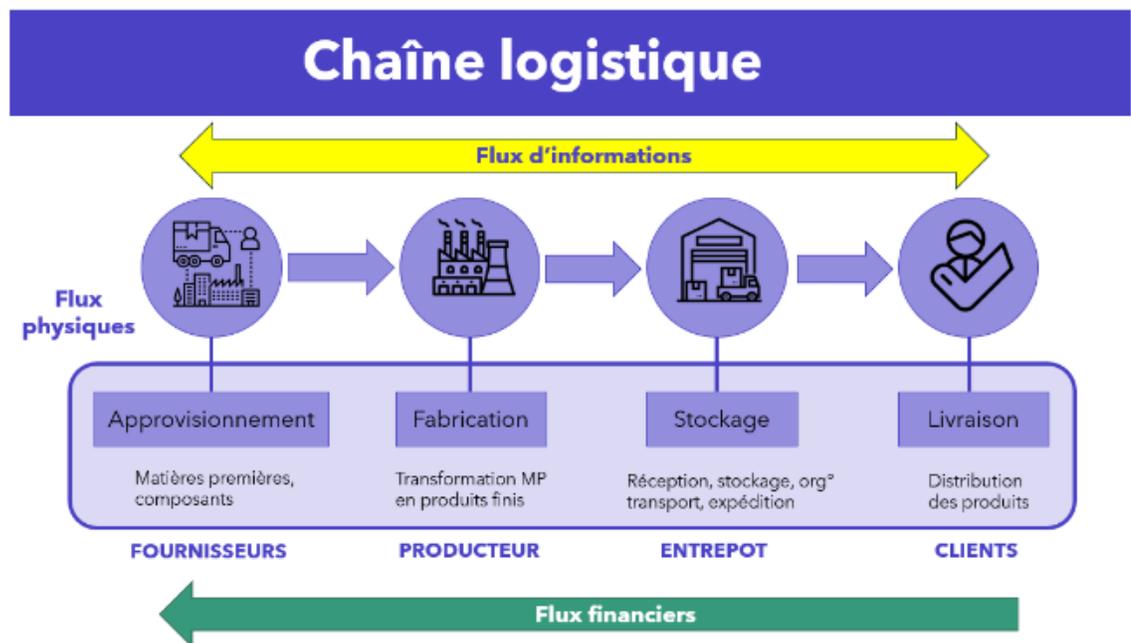


Figure 1 : Chaîne Logistique [18]

1.1.2 Définition

Le transport maritime est le déplacement de marchandises ou de personnes par voie maritime, le long de routes maritimes et occasionnellement des canaux. Il s'agit du mode de transport le plus important pour le commerce international, représentant plus de 80% du volume total de marchandises échangées dans le monde.

Le transport maritime peut être divisé en deux catégories principales :

- Transport de marchandises: Le transport de marchandises par voie maritime est effectué par des navires de différentes tailles et types, tels que les porte-conteneurs, les vraquiers, les pétroliers et les navires frigorifiques.
- Transport de passagers: Le transport de passagers par voie maritime est effectué par des ferries, des navires de croisière et des paque bots.

1.1.3 Historique

La navigation sur l'eau, est depuis des millénaires, un moyen de déplacement et la méditerranée a été bien, avant les romains, un authentique espace de communication et de commerce entre les peuples des pays qui l'entourent, toutefois si la navigation remonte à très loin dans le temps, ce n'est que vers le XIVème siècle qu'elle a pu être pratiquée sur de longues distances, c'est un grand tournant dans l'histoire de la navigation et qui allait être couronné par la découverte de l'Amérique. Vers le milieu du XIXème siècle, Il a connu un autre tournant par l'introduction de la coque de fer, puis la vapeur, cette évolution technologique a permis d'atteindre des vitesses qui peut dépasser les 33 nœuds (60 KM/H). [1]

Le transport maritime consiste à déplacer des marchandises ou des hommes pour l'essentiel par voie maritime, même si occasionnellement, le transport maritime peut prendre en charge le pré-acheminement ou post-acheminement (positionnement d'un conteneur chez le chargeur et son acheminement au port par exemple). La stratégie maritimisation est un ensemble global d'une politique industrielle prise en concentration par l'état, l'armateur dans le secteur maritime. Les mesures en faveur de la création de fret et sa maîtrise suit à une politique de transport compétitif de la responsabilité des armateurs, l'action maritime s'étant au port, au transport multimodale et au chantier navale, c'est à la fois une chaîne de transport et une politique de filiale dans la constitution des outils de transport. [3]

1.1.4 L'importance de transport maritime

Le transport maritime représente environ 80 % du commerce mondial, ce qui en fait l'un des moyens de transport les plus utilisés au monde. Parmi les principaux avantages du transport maritime figurent sa capacité à transporter de grandes quantités, sa sécurité et sa fiabilité. C'est pourquoi il est considéré comme un moyen de transport très économique et sécuritaire. En outre, le transport maritime joue un rôle essentiel dans le commerce international et le commerce mondial. En effet, plus de 90 % des marchandises, notamment les matières premières, les produits finis et les produits manufacturés, sont transportées par voie maritime. Cette part représente environ 10 milliards de

tonnes par an, dont 7 milliards de tonnes de marchandises solides naviguent chaque année sur les océans. Les principaux produits qui passent par cette forme de transport étant les produits du pétrole brut ; suivis par la production agricole et la matière première ; puis le gaz naturel et enfin les conteneurs.

1.2 La conteneurisation

1.2.1 Définition de conteneur

Un conteneur est un emballage mais c'est aussi une marchandise. Le conteneur est une caisse métallique, en forme de parallélépipède, spécialement conçue pour transporter des marchandises par divers moyens de transport afin de faciliter leur manutention et leur transport. Ses dimensions ont été standardisées au niveau international. Il peut également être défini comme un conteneur destiné à contenir des marchandises en vrac ou légèrement emballées, notamment dans le but de préserver leur transport sans manipulation intermédiaire ni casse. La Convention douanière de 1972 relative aux conteneurs définit un conteneur comme : un véhicule de transport (qu'il s'agisse d'un châssis, d'une citerne ou autre véhicule similaire) formant un compartiment entièrement ou partiellement fermé, destiné à contenir des marchandises. Il a un caractère permanent et est donc suffisamment résistant pour permettre une utilisation répétée. [2]

1.2.2 Histoire de la conteneurisation

En 1956, le conteneur maritime, également appelé conteneur (terme anglais), est créé par l'Américain Malcolm, un transporteur terrestre né en Caroline du Nord en 1913 dans une famille de classe moyenne. En 1953, cet homme d'affaires se rend compte que les autoroutes reliant les différents ports de la côte Ouest sont complètement saturées. Il a alors l'idée de charger les remorques de camions directement sur les bateaux. Il a ensuite vendu son entreprise de transport terrestre et investi dans une petite entreprise de camionnage qui déplaçait des remorques. Il s'est vite rendu compte que l'espace utilisé était trop grand. De là, il a eu l'idée de retirer le châssis et de charger uniquement la partie supérieure de la remorque, la « caisse » elle-même. Le conteneur est né. En moins de dix ans, le système du conteneur s'est répandu dans le monde entier car il permet, en plus d'optimiser

De l'espace à bord, un gain de temps incroyable dans les opérations de manutention. Puis une standardisation internationale des conteneurs est établie. [4]

1.2.3 Description et propriétés du conteneur

Un conteneur est une caisse métallique rectangulaire qui sert à emmagasiner des éléments qui doivent être transportés d'un endroit à un autre. Grâce à la standardisation, les dimensions des conteneurs sont réglementées par la norme ISO 668 : 1995. L'unité de mesure d'un conteneur est l'équivalent 20 pieds (EVP), mais il existe des conteneurs de taille 40 pieds (2 EVP), etc. Généralement, il y a plusieurs formes de conteneur, dont les plus connues sont : standard, high-cube, hard-top, open-top, flatracks, platforms, ventilated, insulated and refrigerated, bulk, et tank. La Figure 1 ces différents types de conteneurs. [5]



Figure2: Les différents types de conteneurs.

1.2.4 Caractéristiques du conteneur

Chaque conteneur doit pouvoir supporter 180 tonnes, de sorte à pouvoir empiler les boîtes sur neuf plans. Il existe des types particuliers de conteneurs mais qui répondent aux mêmes exigences d'arrimage et de gerbage. Par exemple: open top container, flat rack container, refrigerated container, tank container. Le Tableau illustre les différentes caractéristiques des conteneurs. [6]

Type	Langeur, en Mètre	Largeur, en Mètre	Capacité, en tonne
20 pieds	6.058	2.438	21.5
30 pieds	9.14	2.438	25.5
40 pieds	12.116	2.438	32.5

Tableau1: Principales caractéristiques des conteneurs

1.2.5 La nécessité du conteneur

Dans les années cinquante du siècle dernier, le transport maritime de marchandises impliquait des chargements en vrac dans une variété de conteneurs, ce qui entraînait une hausse des coûts de main-d'œuvre et de temps pour le chargement et le déchargement des navires. Ces coûts comprenaient également des pertes de temps et des dommages aux marchandises. Ainsi, les tentatives pour remédier à cette inefficacité ont conduit à l'utilisation de conteneurs métalliques de tailles standardisées, initialement développés pour un usage militaire pendant la Seconde Guerre mondiale. Ces conteneurs, de tailles plus grandes, ont été conçus pour être transportés par camion, train et navire, facilitant ainsi les opérations multimodales

La simplification du processus de chargement et de déchargement en deux étapes a permis de placer d'abord les marchandises dans les conteneurs à l'extérieur du port, puis de charger les conteneurs sur les navires à leur arrivée au port. Cette approche a accéléré les opérations de transport et a réduit les coûts associés, ce qui a favorisé le commerce international.

L'utilisation généralisée des conteneurs marque le début de ce qui est connu sous le nom de "révolution des conteneurs", qui a eu un impact significatif sur l'efficacité et la rentabilité du transport maritime de marchandises [7].

1.3 Cas d'étude

1.3.1 Introduction

Le transport maritime a pris une importance croissante de nos jours, se positionnant comme une alternative intéressante au transport terrestre et aérien, surtout avec le développement du transport par conteneurs.

Dans ce chapitre, nous nous penchons sur la représentation du terminal à conteneurs de Béjaïa (BMT).

1.3.2 Définition de BMT

BMT (Bejaia Mediterranean Terminal) est une entreprise spécialisée dans l'exploitation et la gestion du terminal à conteneurs du port de Béjaïa. Dotée d'équipements modernes et d'un personnel compétent, bien formé et encadré dans le domaine du traitement des conteneurs, BMT assure des prestations de service de haute qualité avec une efficacité largement reconnue, tout en offrant un excellent environnement de travail à ses employés. [8]

1.3.3 Création de BMT

BMT SPA a été créée par décision du Conseil des Participations de l'État (CPE) en mai 2004, sous forme de partenariat entre l'Entreprise Portuaire de Béjaïa (EPB) et le groupe PORTEK, une société singapourienne spécialisée dans les opérations de terminaux à conteneurs et les équipements portuaires, active dans plusieurs ports à travers le monde. Le capital social de BMT s'élève à cinq milliards de dollars américains, répartis à hauteur de 51% pour l'EPB et 49% pour PORTEK. [8]



Figure3: création de BMT. [8]

1.3.4 Les apports de chaque partie [8]

1.3.4.1 Le PORTEK

- Investissement en numéraire.
- Transfert de technologie et savoir-faire.
- Contribution à la prise de marché.
- Maintenance et pièce de rechange.
- Management de terminaux.
- Equipements et expertises.
- Formation

1.3.4.2 L'entreprise portuaire de Bejaia (EPB)

- Infrastructure commerciale.
- Investissement.
- Marché.

1.3.4.3 Structure organisationnelle de BMT

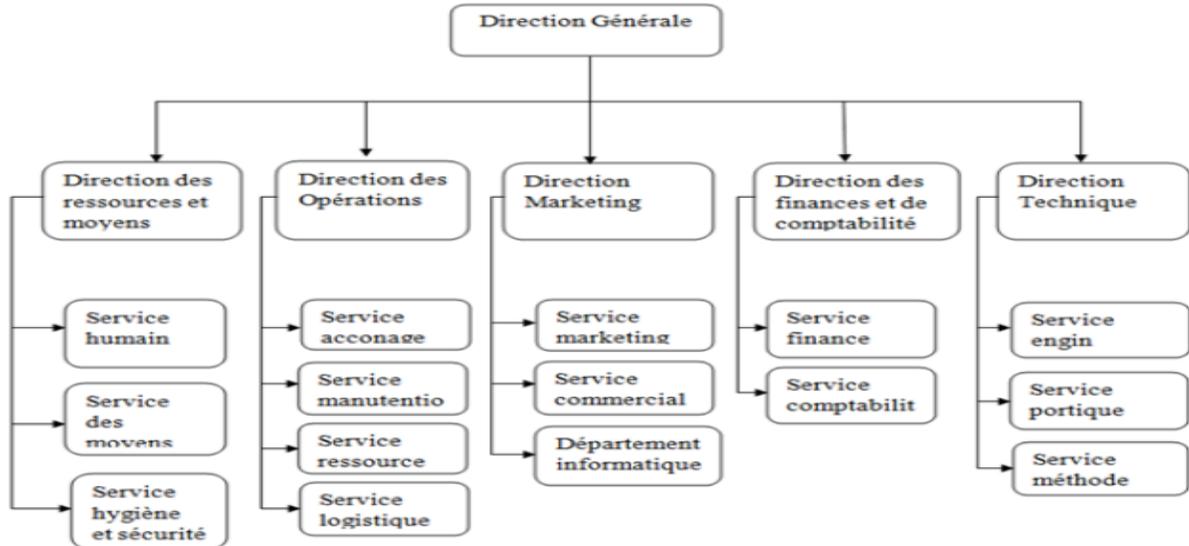


Figure4:structure organisationnelle de BMT. [8]

1.3.5 Les équipements

Équipements	Nombre	Tonnage
Quay Crane (QCs)	2	40 tonnes
Grues	2	100 tonnes
Portique gerbeur sur pneu (RTG)	8	36 tonnes
Steackers	9	40 tonnes
chariot manipulateur du vide	10	10 tonnes
chariot élévateur	11	2,5,3,5,10 tonnes
remorques portuaires	18	40 tonnes
remorques routières	24	36 tonnes

Tableau2:Les équipements de BMT [8]

1.3.6 Les service de BMT

BMT reçoit annuellement un grand nombre de navires pour lesquels elle assure les opérations de planification, de manutention et d'acconage telles que :

1.3.6.1 Planification

- Planification des escales.
- Planification déchargement/chargement.
- Planification du parc à conteneurs.
- Planification des ressources équipés et moyens matériels.

1.3.6.2 Manutention

Après accostage du navire, des équipes spécialisées s'occupent de toutes les opérations, le nombre de conteneurs embarqués ou débarqués par heure (cadence) constitue une mesure de la qualité de service.

1.3.6.3 Acconage

Une fois que les conteneurs sont placés dans le parc, diverses opérations peuvent être effectuées, notamment la visite, la pesée, la livraison, la mise à disposition et la restitution. BMT alloue des ressources humaines et matérielles pour exécuter ces différentes tâches liées aux conteneurs. Les portiques gerbeurs sur pneus (RTG) jouent un rôle essentiel dans la réalisation de ces opérations. La qualité du service est évaluée en fonction du nombre de livraisons et de restitutions effectuées par jour.

1.3.6.4 Traitement des TCs frigorifiques

La gestion des conteneurs réfrigérés, y compris leur branchement, leur entreposage et le suivi de la température, est confiée à une équipe spécialisée du département technique au sein de la zone. En cas

de défaillance d'un conteneur réfrigéré, sur demande du client, l'équipe technique de BMT peut intervenir pour effectuer des réparations correctives sur l'unité défaillante.

1.3.6.5 Transport Ferroviaire

BMT Logistique et les services de la SNTF (Société Nationale de Transport Ferroviaire) ont conclu un accord de coopération permettant à BMT LOGISTICS d'utiliser le réseau ferroviaire algérien pour le transport des conteneurs à partir du port de Béjaïa. Cette initiative offre un service transmodal aux clients de BMT, leur permettant ainsi de bénéficier d'une livraison régulière de bout en bout.

1.3.6.6 Centre de Formation

Le centre de formation de BMT se concentre sur la formation professionnelle dans les domaines des terminaux à conteneurs, notamment les opérations de manutention des navires, l'accostage, les technologies de maintenance des équipements et la gestion globale du terminal à conteneurs.

1.3.7 La zone de stockage de conteneur aux niveau BMT

BMT dispose d'une cour de stockage de capacité de 10300 EVP, répartie en cinq blocs comme la montre la figure suivante :

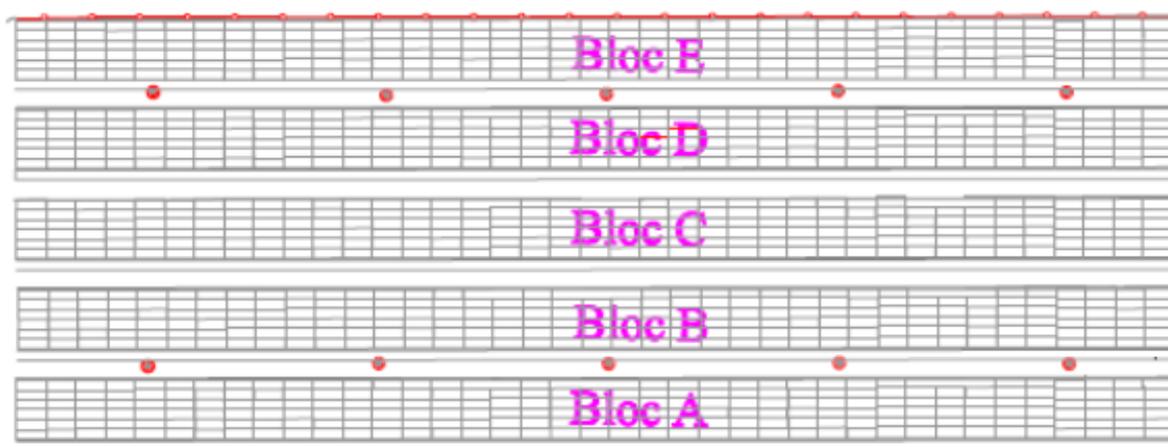


Figure5:Les blocs de stockage des conteneurs. [8]

Chaque bloc comprend 5*56 piles de six (06) étages chacune.

Ces dernières informations proviennent de source [9]

1.3.8 Les différents Problèmes de stockage de conteneurs aux niveaux de BMT

Problème De Stockage De Conteneur aux niveaux de BMT			
Problèmes liés aux systèmes D'information	Problèmes liés aux processus de gestion	Problème d'espace	Problèmes liés au mal exploitation du matériel
-manque de la gestion en temps réel	-plusieurs opérations dans le même slot	- problème d'empilement	- des pannes répétitives
-Système saturé	- la chaine d'attente des remorques	- saturation de la ZEP	-Non disponibilité d'engin
-système non harmonisé	-état de la ZEP et la méthode		

Tableau3:Les différents Problèmes de stockage de conteneurs aux niveaux de BMT

Conclusion

Le problème de stockage des conteneurs (PSC) peut être traité de manière statique ou dynamique. Dans le cas statique, tous les conteneurs sont supposés être arrivés au port avant le début des opérations de stockage. En revanche, dans le cas dynamique, on prend en compte les arrivées et les départs imprévus et incertains des conteneurs après le début des opérations de stockage.

Dans ce travail, nous nous intéressons à la modélisation du cas statique du problème de stockage des conteneurs en considérant le cas du déchargement. Pour notre cas d'étude sur le terrain, nous avons des difficultés d'autorisation pour faire notre stage au niveau du port Bejaia. Donc, nous avons utilisé les références bibliographiques [8] et [7]

Chapitre 02
Problème de stockage
conteneur

2 PROBLEME DE STOCKAGE DE CONTENEURS

Introduction

Les ports à conteneurs sont considérés comme des centres vitaux pour le transport de marchandises entre différents moyens de transport. Les navires reçoivent des conteneurs qui constituent des points de rencontre entre ces navires et tous les autres modes de transport. Cette interface qui relie le commerce extérieur représente des systèmes ouverts de flux de matières avec deux interfaces externes : les quais où les conteneurs sont chargés et déchargés vers et depuis le navire, et les zones intérieures où les conteneurs sont livrés vers et depuis le port, soit par camion, soit par train. .

L'objectif commun aux clients et aux opérateurs de ports à conteneurs est de minimiser le temps pendant lequel le conteneur reste dans la zone de stockage. Or, l'optimisation du stockage des conteneurs dans un port maritime constitue un problème logistique important qui retient l'attention des chercheurs depuis plusieurs décennies. Ce phénomène se modifie à travers deux axes principaux, le premier est l'amélioration du temps de stockage et l'autre vise à évaluer l'amélioration de l'espace de stockage. Par ailleurs, les opérateurs portuaires poursuivent également l'objectif de maximiser la productivité portuaire, en tenant compte des différentes opérations qui s'y déroulent. Comme l'attribution d'emplacements sur les trottoirs, l'installation de conteneurs, etc. Dans de nombreux cas, les problèmes d'entreposage et d'entreposage constituent aujourd'hui la principale préoccupation de la plupart des ports à conteneurs. Ci-dessous ce chapitre, nous aborderons le problème plus en détail. [10]

2.1 Description et rôles des terminaux à conteneurs

De manière générale, un terminal à conteneurs est un endroit où sont entreposés des conteneurs pouvant être transportés par différents moyens de transport.

Le processus d'expédition peut être effectué entre des navires et des véhicules terrestres, tels que des camions. Dans ce cas, le terminal est appelé terminal maritime. Alternativement, le processus de transport peut s'effectuer entre deux véhicules terrestres, comme des trains et des camions. Dans ce cas, le terminal est appelé gare de transbordement.

Les principales fonctions d'un terminal maritime à conteneurs sont la réception, le stockage, la préparation et le chargement des conteneurs entrants." [7]

2.2 Matériel de manutention:

Les opérations de manutention sont réalisées à l'aide de grues. Ces dernières sont divisées en grues de quai et grues de chantier, où les grues de quai sont utilisées pour charger et décharger les porte-conteneurs. En général, le déchargement se fait avant le chargement. Plusieurs grues de quai peuvent travailler en même temps sur un bateau, à condition de suivre un plan de travail bien planifié qui assure l'équilibre du navire. En général, ces types de grues se déplacent sur des rails comme le montre la figure

Chapitre 02 Problème de stockage conteneur



Figure 6 : Grue de quai. . [6]

Ils existent deux types de grue de cour : les Rail-Mounted Gantry Cranes (RMGCs) et les Rubber-Tyred Gantry Cranes (RTGCs).

Les RMGC sont automatisés et ne nécessitent pas de pilotes.

C'est plus rapide que les RTGC. La figure 6 est un exemple RMGC.



Figure7: Rail-Mounted Gantry Crane (RMGC). [6]



Figure8 : Rubber-Tyred Gantry Crane (RTGC) [6]

2.3 Le stockage de conteneurs

Alors que la concurrence s'intensifie entre les ports et que l'attention se porte sur trois éléments distincts : le coût, la durée et la qualité, l'amélioration du service client est devenue essentielle pour le port terminal à conteneurs. Il est nécessaire de choisir les lieux de stockage des conteneurs destinés à l'importation et à l'exportation afin qu'ils puissent être chargés efficacement dans différents moyens de transport (camion, train ou bateau), en veillant à garantir la sécurité du reste des activités dans le pays. Port.

En général, le problème de l'amélioration du stockage des conteneurs dans le port est considéré comme un problème logistique très important qui attire l'attention des chercheurs depuis plusieurs décennies car son amélioration est la plus grande incitation à soutenir le commerce international, et c'est ce qui contribue à améliorer l'économie mondiale.

2.4 Les différentes stratégies de stockage [7]

2.4.1 Ségrégation et Non-ségrégation

Le stockage par Ségrégation est la séparation entre les conteneurs destinés à l'exportation et ceux destinés à l'importation. Les zones de stockage sont pré-distribuées afin de déterminer les emplacements désignés pour chaque type de conteneur. Il existe de nombreuses façons de différencier, comme réserver des groupes entiers pour chaque classe de conteneurs, diviser des rangées ou des rangées pour chaque type, ou encore diviser l'espace alloué à une classe particulière de conteneurs en fonction des navires. Cette méthode est principalement utilisée pour stocker les conteneurs destinés à être expédiés à bord des navires.

Chapitre 02 Problème de stockage conteneur

En revanche, la méthode de non-ségrégation ne fait pas de distinction entre les classes de conteneurs, ce qui signifie que les conteneurs peuvent être empilés simultanément quelle que soit leur destination.

2.4.2 Groupage et Despresion

Avec la méthode de stockage par groupe, des emplacements adjacents sont attribués à chaque ensemble de conteneurs ayant les mêmes spécificités, comme la destination, les dimensions, le contenu, etc. Les conteneurs d'un même groupe sont considérés interchangeables, ce qui permet de les superposer sans se soucier de leurs dates de départ. Cette méthode est principalement utilisée dans les terminaux à conteneurs équipés de grues sur rails, où les conteneurs sont regroupés pour minimiser l'utilisation de la main-d'œuvre. Il existe deux méthodes de réservation d'emplacements pour cette stratégie : la méthode de l'"unité pile" qui réserve une pile vide pour chaque groupe de conteneurs et en désigne une nouvelle lorsque la pile d'un groupe est pleine, et la méthode de l'"unité travée" qui réserve.

2.4.3 Le stockage direct et indirect

Le stockage direct implique que les conteneurs sont directement placés dans la cour de stockage du terminal portuaire, où ils restent jusqu'à leur départ. En revanche, avec le stockage indirect, les conteneurs sont d'abord placés dans une zone d'agencement avant d'être transférés dans la cour de stockage. Cette méthode vise à réduire les temps d'attente des camions externes qui livrent les conteneurs, ainsi qu'à accélérer les opérations des grues de cour en séparant les périodes de stockage des périodes de retrait. Les transferts de conteneurs de la zone d'agencement vers la cour de stockage sont effectués pendant les temps libres des grues de cour. Cette approche est particulièrement utile pour les ports qui ne disposent pas de toutes les informations nécessaires concernant les conteneurs à leur arrivée. Dans ce cas, les conteneurs sont temporairement placés dans la zone d'agencement en attendant de recevoir toutes les informations requises pour déterminer leur emplacement final dans la zone de stockage. Ces informations peuvent inclure les dates de départ, les modes de transport (routier ou ferroviaire), etc. Une décision importante à prendre dans les terminaux à conteneurs utilisant cette méthode est de déterminer la bonne répartition de l'espace de stockage. Certains chercheurs proposent de ne pas séparer la zone d'agencement de la zone de stockage finale, mais d'inclure plutôt un espace d'agencement à l'intérieur de chaque bloc de stockage. Malgré ses avantages, la méthode de stockage indirect entraîne trop de mouvements qui ne sont pas tous nécessaires. Ces déplacements de conteneurs nécessitent des moyens techniques (comme des grues ou des cavaliers) et de la main-d'œuvre, surtout dans les terminaux à conteneurs non-automatisés.

2.4.4 Priorité aux déchargements et Priorité aux chargements

- Sélectionner une rangée quelconque ayant au moins un emplacement libre.
- Rechercher dans cette rangée un emplacement libre et approprié qui soit directement au niveau du sol.
- Si un tel emplacement est trouvé, y placer le conteneur.
- Si aucun emplacement direct au sol n'est disponible, chercher un emplacement libre et approprié dans cette rangée, en privilégiant ceux situés au niveau le plus bas possible.

Chapitre 02 Problème de stockage conteneur

2.5 La complexité du problème :

Le PSC est classifié parmi les problèmes NP-difficile et NP-complets car c'est un problème de programmation linéaire en nombre entier, et comme celui-ci est NP-difficile alors le PSC est aussi NP-difficile [11]

2.6 Les méthodes d'optimisation pour la résolution de PSC

Les méthodes d'optimisation peuvent être classées en deux grandes classes : exactes et heuristiques. Dans les méthodes exactes, le principe consiste à trouver une solution optimale globale, en utilisant une recherche exhaustive (exemple : Branch and bound, Coupe de Gomory, Branch and Cut . . .). Néanmoins, Dans de nombreux problèmes d'optimisation (trop de données, taille énorme des instances, la détermination d'une solution exacte prend trop de temps de calcul pour qu'il soit raisonnable de chercher une telle solution. C'est ainsi que l'orientation est faite vers les méthodes heuristiques. .),

2.6.1 Les méthodes exactes

Une méthode exacte est définie comme assurant l'obtention de la solution optimale pour un problème d'optimisation. Ces méthodes sont généralement restreintes aux problèmes de petite taille.

2.6.2 Les méthodes approchées

On peut distinguer :

– Les heuristiques pour lesquelles on peut quantifier l'erreur (recherche locale...)
– Les méta-heuristiques, qui sont des méthodes inspirées de phénomènes naturelles (algorithme génétiques, colonies de fourmis et d'abeilles ...). [8]

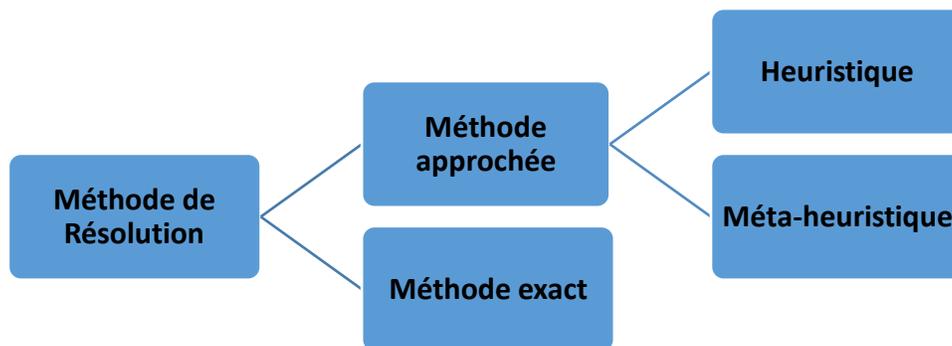


Figure9:les méthodes de résolution de psc.

Chapitre 02 Problème de stockage conteneur

2.7 L'état de l'art

Pour résoudre le problème de stockage des conteneurs au terminal portuaire dans ce travail, plusieurs contributions scientifiques ont été proposées. Ces contributions résultent d'une recherche intensive dans la littérature sur ce sujet, et l'une des observations les plus importantes discutées était la nécessité d'outils puissants pour aider à la prise de décision, permettant aux planificateurs d'économiser du temps pour augmenter la productivité du port. Une étude analytique du problème a été menée pour explorer sa complexité et proposer des modèles mathématiques, en tenant compte des contraintes physiques et logiques du stockage, dans le but d'optimiser la répartition des conteneurs.

Tableau 4: récapitulatif des travaux liés à l'étude du problème de stockage des conteneurs

Auteurs	Problème traité	Méthode de résolution	Contributions
Kim et Kim (1997)	Planification de la séquence de chargement des conteneurs à exporter dans un port maritime Réduire le temps total de manutention des conteneurs par les portiques de cour.	Algorithme optimal de routage	Déterminer combien de conteneurs doivent être collectés dans chaque baie et de la route optimale des portiques de cour
Kefi (2008)	Il suggère une stratégie distribuée pour gérer les problèmes de stockage de conteneurs en décrivant un modèle d'optimisation heuristique distribuée COSAH (Container Stacking via multiAgent approach and Heuristic method)	Algorithme heuristique : les heuristiques gloutonnes	Utilise une architecture multi agents Prise en compte le départ d'un conteneur
Yu et al (2013)	Examiner un terminal à conteneurs automatisé moderne où l'objectif était	Propose trois modèles pour améliorer le problème de l'allocation d'espace de bloc;	Développer des schémas de solution pour améliorer le problème d'allocation d'espace pour le stockage de

	d'optimiser le nombre de remaniements pour améliorer l'efficacité des processus de récupération des conteneurs entrants.	La non-ségrégation, la ségrégation à période unique et la ségrégation à périodes multiples. Utilise des simulations pour valider les modèles et les solutions optimales.	conteneurs entrants. Faire des plans de réorganisation pour récupérer l'allocation d'espace de bloc après avoir récupéré certains conteneurs.
Ndiaye et al. (2014)	Le problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire évitant les remaniements	Propose un nouveau modèle sous forme d'un problème d'affectations à coût minimal	Réduire le temps de transport des conteneurs entre la zone de stockage et les navires. Amélioration d'un modèle mathématique qui permet d'éliminer les remaniements dans chaque pile en respectant l'ordre décroissant des dates de départ des conteneurs.
Ndiaye et al. (2015)	Le problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire	L'algorithme de recuit simulé et l'algorithme génétique	Développe une Hybridation entre l'algorithme génétique et le recuit simulé.
Ndiaye et al. (2016)	Concerne la localisation de tous les conteneurs entrants, s'appuyant sur l'outil principal du Staddle Carrier.	Algorithme de la colonie de fourmis	Les simulations numériques prouvent que l'algorithme utilisé est efficace pour résoudre le problème du stockage des conteneurs. Limiter le nombre de remaniements et de la distance entre le quai et les zones de stockage.

Chapitre 02 Problème de stockage conteneur

Arthanari (2016)	Propose un modèle de programmation dynamique stochastique pour les conteneurs entrants.	Développe une heuristique appelée l'indice de remaniement attendu (ERI).	Calcule le nombre minimum attendu de remaniements.
ssGalle, V. et al (2018)	Le problème stochastique de relocalisation des conteneurs (CRP) qui consiste à déterminer une séquence de relocalisation des conteneurs	Algorithme Pruning-Best-First Search (PBFS) et Algorithme PBFSApproximate.	Propose le modèle batch, un nouveau modèle stochastique à plusieurs étapes, est introduit, justifié et comparé à un modèle existant, minimise le nombre de relocalisations nécessaires pour récupérer tous les conteneurs tout en maintenant un certain ordre de récupération
H Zhu et al. (2020)	Concentre sur le problème du déchargement et de l'empilage des conteneurs entrants.	Pour les instances de petite taille. Un algorithme de recherche qui fonctionne en deux étapes pour les instances de grandes tailles: Une étape de génération d'une solution réalisable et une étape de recherche pour trouver la solution optimale.	trouver la distribution optimale de la séquence de gerbage et de déchargement et essayer de réduire le nombre attendu de remaniements en utilisant un modèle de programmation en nombres entiers
Yu, M. et al (2021)	Le problème d'allocation d'espace pour les conteneurs entrants dans les terminaux à conteneurs automatisés.	Algorithme génétique.	Propose un modèle de programmation en nombres entiers pour caractériser le problème. Minimise le temps d'attente global des AGV et le temps d'attente des camions externes.

Chapitre 02 Problème de stockage conteneur

2.8 Modélisation mathématique de problème de stockage de conteneur

Pour la résolution du cas statique du problème de stockage de conteneurs, nous proposons une formulation mathématique du problème sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers (PLNE) dans lequel sont utilisés les paramètres décrits dans le tableau

	Notations	Description
Indice	K P I	Conteneur Pile Emplacement d'un pile
Données concernat les piles	N_p C_p N_p r_p T_p	Nombre de pile Nombre d'emplacement libre dans une pile Dimension de la pile(40pieds ou 20 pieds Date de départ de conteneur qui déjà au sommet de p, aux début des opérations de stockage
Données concernat les conteneurs	N R_k T_k	Nombre de conteneur k Dimensions de conteneurs k(20p ou 40p) Date de départ du conteneur k à stocker
Données générale	E	Espace libre

Tableau5:Paramètres.

Soient les trois variables de décision suivante :

$$x_{p,i}^k \begin{cases} 1 & \text{Si le conteneur } k \text{ est affecté à l'emplacement } i \text{ de la pile } p \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

Pour le cas statique du problème de stockage de conteneurs, nous proposons le modèle mathématique suivant :

maximiser

$$f(x) = \left(\sum_{k=1}^N \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{i=1}^{C_p} E_{p,i}^k x_{p,i}^k \right)$$

La fonction objectif $f(x)$ maximiser l'espace libre. De plus, elle minimise les distances de séparation entre les conteneurs qui appartiennent à une même catégorie. Les solutions du problème vérifient les contraintes suivantes.

$$\sum_{p=1}^{N_p} \sum_{i=1}^{c_p} x_{p,i}^k = 1, \forall k = 1, \dots, N \quad (1)$$

La contrainte (1) assure que chaque conteneur est affecté à un seul emplacement.

$$\sum_{k=1}^N x_{p,i}^k \leq 1, \forall p = 1, \dots, N_p, i = 1, \dots, c_p \quad (2)$$

La contrainte (2) garantit que plusieurs conteneurs ne sont pas simultanément affectés à un même emplacement.

$$\sum_{p=1}^{N_p} \sum_{i=1}^{c_p} x_{p,i}^k = 0, \forall k = 1, \dots, N : R_k \neq r_p \quad (3)$$

La contrainte (3) assure que dans chaque pile, sont stockés uniquement des conteneurs qui ont les mêmes dimensions.

$$\sum_{k=1}^N (N - k + 1) x_{p,i}^k \geq \sum_{k=1}^N (N - k + 1) x_{p,i+1}^k \quad (4)$$

$$\forall p = 1, \dots, N_p, i = 1, \dots, c_p - 1$$

La contrainte (4) impose que, dans chaque pile, les conteneurs sont stockés suivant le même ordre que leurs arrivées ou bien leurs déchargements. Dans le cas des conteneurs venant de navires, cela permet d'éviter des encombrements sur les quais. Pour le cas des conteneurs apportés par les navires, ce procédé permet de réduire les temps d'attente des navires.

CONCLUSION

Ce chapitre a mis en lumière la diversité des approches et des défis associés au problème de stockage de conteneurs. Il a souligné l'importance cruciale de choisir la bonne stratégie de stockage et d'utiliser des modèles mathématiques appropriés pour optimiser l'utilisation de l'espace et améliorer l'efficacité des opérations logistiques. Des recherches continues sont nécessaires pour explorer de nouvelles méthodes et améliorer les performances des algorithmes existants dans ce domaine essentiel à la gestion moderne des stocks.

Chapitre 03

**Les solutions proposées
pour la résolution de
PSC (colonies d'abeilles
et Branch and bond).**

3 LES SOLUTIONS PROPOSEES POUR LA RESOLUTION DE PSC

Introduction

La problématique de l'optimisation du stockage des conteneurs consiste à maximiser l'utilisation de l'espace tout en minimisant les coûts logistiques et les temps d'accès. L'approche "Branch and Bound", issue de la programmation mathématique, permet d'explorer méthodiquement l'ensemble des solutions possibles en utilisant des stratégies intelligentes pour réduire la complexité de la recherche. D'autre part, les algorithmes inspirés des colonies de fourmis exploitent le comportement coopératif des insectes pour trouver des solutions efficaces à des problèmes d'optimisation complexe.

Dans ce chapitre, nous explorerons comment ces deux approches sont appliquées au problème spécifique du stockage des conteneurs. Nous plongerons dans les mécanismes du "Branch and Bound", en mettant l'accent sur sa capacité à diviser le problème en sous-problèmes gérables tout en garantissant l'optimalité de la solution finale. De plus, nous examinerons comment les algorithmes basés sur les colonies d'abeilles exploitent les principes d'auto-organisation et de communication indirecte pour trouver des configurations optimales de conteneurs.

3.1 La méthode exacte(Branch and bound)

La procédure de séparation et d'évaluation ou la méthode "Branch and Bound" est une méthode qui consiste à construire un arbre de recherche implicite. Cet arbre est exploré de façon à éviter les branches inutiles/dominées. Une branche dominée est une partie de l'espace de recherche qui est vide des solutions réalisables ou bien ne contenant aucune solution plus intéressante qu'une solution courante. Cette exploration intelligente est réalisée grâce à des évaluations des branches et à des comparaisons avec un seuil de la valeur du critère (également appelé borne).

3.1.1 Principe de la méthode B&B

Une méthode de Branch and bound est basée sur de trois éléments principaux :

- La procédure de séparation.
- La procédure d'évaluation.
- La stratégie de parcours ou procédure de cheminement.

3.1.1.1 Procédure de séparation ("Branching process")

Séparer (brancher) de manière récursive le problème en sous problèmes de cardinalité inférieure tels que l'union de leurs espaces de solutions forme l'espace des solutions du problème père, le nœud séparé en priorité est celui qui produit la borne inférieure la plus faible. Un sous ensemble qui ne peut être séparé est appelé ensemble sondé. [12]

3.1.1.2 Procédure d'évaluation

Une procédure d'évaluation qui consiste à analyser un sous- problème : l'essentiel, cette analyse vise à évaluer la valeur optimale de la fonction objective de sous-problème, plus précisément à déterminer une borne inférieure de cette valeur. [12]

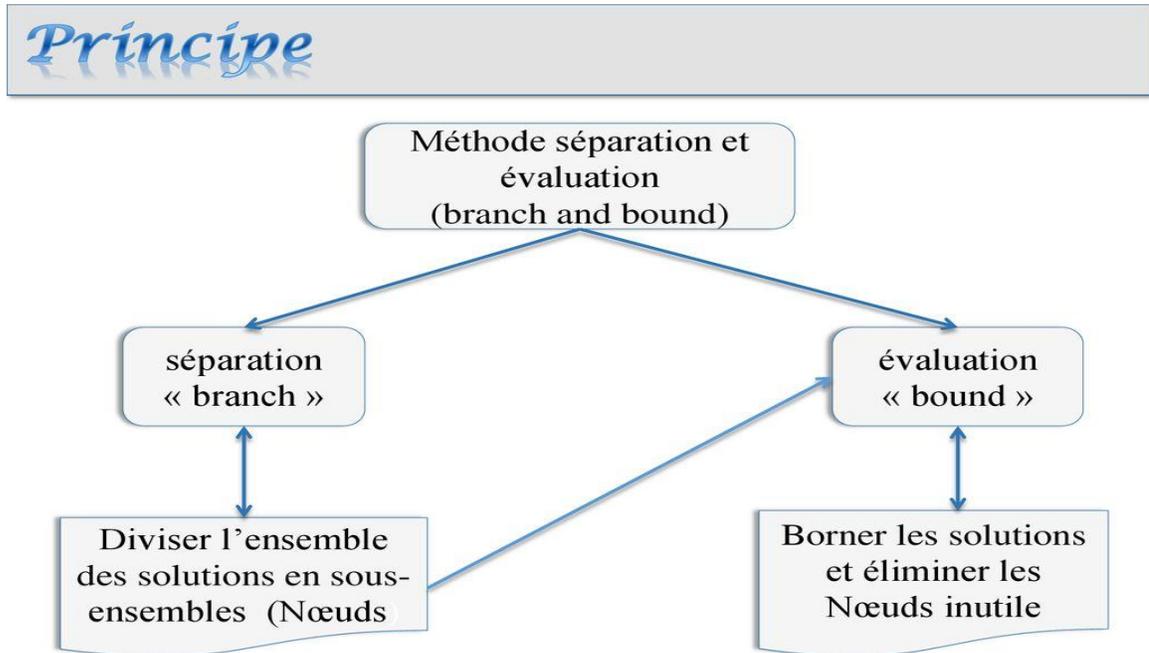


Figure10 :Principe générale de B&B

3.2 Méthode Colonies d'abeilles :

L'algorithme de colonie d'abeilles (BA), conçu par Pham et ses collègues en 2005, est une méthode méta-heuristique adaptée à divers problèmes d'optimisation. Il tire son inspiration du comportement des abeilles lorsqu'elles cherchent des fleurs pour produire du miel. Des recherches récentes, telles que celles de D.T. Pham et J.L. Gould, ont mis en lumière les capacités des colonies d'abeilles à parcourir de longues distances, dépassant parfois les 10 kilomètres, pour explorer de nombreuses sources de nourriture.

Dans une colonie d'abeilles, chaque membre a un rôle spécifique. Les éclaireuses sont chargées de trouver les champs de fleurs avant le début de la récolte. Une fois qu'elles ont découvert une source, elles cherchent à en trouver de meilleures avant de retourner à la ruche pour informer les butineuses.

À leur retour, les éclaireuses effectuent une danse frétillante sur la "piste de danse", un moyen de communication mystérieux basé sur des mouvements corporels et des vibrations sonores. Cette danse transmet des informations sur la qualité et la distance des sources de nourriture.

3.2.1 Les Principes

- Dans cet algorithme, l'emplacement de la source de nourriture représente la solution possible au problème, et la quantité du nectar de cette source correspond à une valeur de **fitness**.
- Les butineuses sont attribuées aux différentes sources de nourriture de façon à maximiser l'apport total de nectar. La colonie doit **optimiser** l'efficacité globale de la collecte.
- La répartition des abeilles est donc en fonction de nombreux facteurs tels que la quantité du nectar et la distance entre la source de nourriture et la ruche.
- Le nombre des butineuses actives ou inactives représente le nombre de solutions dans cette population.
- Dans la première étape, l'algorithme génère une population initiale de n solutions distribuées de façon aléatoire.
- Chaque solution x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) est initialisée par les éclaireuses (scouts), et représente un vecteur.
- Après l'initialisation, la population de solutions est soumise à des cycles répétés $C = 1, 2, \dots, C_{max}$, ces cycles représentent des processus de recherches faits par les butineuses actives, inactives et les éclaireuses.
- Les butineuses actives recherchent dans le voisinage de la source précédente x_i de nouvelles sources v_i ayant plus de nectar, Elles calculent ensuite leurs fitness.
- Après la découverte de chaque nouvelle source de nourriture, un mécanisme de sélection gourmande est adopté, c'est-à-dire que cette source est évaluée par les abeilles artificielles, sa performance est comparée à celle de *l'ancienne*. si le nectar de cette source est égal ou meilleur que celui de la source précédente, celle-ci est remplacée par la nouvelle. Dans le cas contraire l'ancienne est conservée.
- A ce stade, les butineuses inactives et les éclaireuses sont en train d'attendre au sein de la ruche. A la fin du processus de recherche, les butineuses actives partagent les informations sur le nectar des sources de nourriture ainsi que leurs
- Ces dernières évaluent ces informations tirées de toutes les butineuses actives, et choisissent les sources de nourriture en fonction de la valeur de probabilité P_i associée a cette source, et calculée par la formule suivante :

- $P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n}$
- Où fit_i est la fitness de la solution i , qui est proportionnelle à la quantité du nectar de la source de nourriture de la position i .
- La source de nourriture dont le nectar est abandonné par les abeilles, les éclaireuses la remplacent par une nouvelle source.
- Si durant un nombre de cycles prédéterminé « limite » une position ne peut être améliorée, alors cette source de nourriture est supposée être abandonnée.

Pour expliquer le principe de cet algorithme, voici un schéma bloc présentant ses différentes étapes :



Figure 11: différentes étapes de colonie d'abeille.

L'algorithme des abeilles est constitué de 6 étapes qui font l'analogie avec le fonctionnement/organisation des abeilles à la recherche d'une source de nourriture. Les voici:

- Initialisation
- Recrutement
- Recherche locale
- Rétrécissement du voisinage
- Abandon du site
- Recherche globale

IL existe 3 types d'abeilles:

- Les éclaireuses
- Les butineuses actives
- Les butineuses inactives

3.2.2 Les paramètres importants :

La taille totale des colonies d'abeilles est $n = nre + (nb-ne) \cdot nrb + ns$ abeilles (sites élite butineuses + butineuses restant sur les meilleurs sites + éclaireuses).

- ns : Nombre d'abeilles éclaireuses
- ne : Nombre de sites élites
- nb : Nombre de « meilleurs » sites
- Nre : Nombre de butineuses recrutées pour les sites.
- Nrb : Nombre de butineuses recrutées pour les meilleurs sites.

Ces dernières informations proviennent de source [13]

3.3 Résultats et discussion

3.3.1 Les outils software et hardware de développement.

Hardware :

Nos expérimentations numériques ont été faites sur une machine dont la fiche technique est la suivante :

Laptop DELL (i3)

Processeur Intel(R) Core(TM) i3-3217U CPU @ 1.80GHz 1.80 GHz

Mémoire vive installée 8,00 Go (7,89 Go utilisable)

ID du périphérique 414D95EF-7A52-4ADB-84C3-5B10DE171A32

Identifiant de produit 00331-10000-00001-AA759

Type du système : Système d'exploitation 64 bits, processeur x64

Édition Windows : 11 Professionnel

Version : 21H2

Date d'installation: 19/04/2023

Version du système d'exploitation : 22000.2538

Expérience : Module d'expérience de fonctionnalités Windows 1000.22001.1000.0

Software : pour les outils logiciels utilisés, on cite :

Fichier json

JSON (JavaScript Object Notation) est le nom d'un format d'échange de données.

C'est un format standard, couramment utilisé pour **structurer** des données de manière similaire aux objets JavaScript.

Django:

Django est un Framework Python de haut niveau, permettant un développement rapide de sites internet, sécurisés, et maintenables. Créé par des développeurs expérimentés, Django prend en charge la plupart des tracas du développement web, vous pouvez donc vous concentrer sur l'écriture de votre application sans avoir besoin de réinventer la roue. Il est gratuit, open source, a une communauté active, une bonne documentation, et plusieurs options pour du support gratuit ou non.

3.3.2 Résultats de Branch and bound

Les informations concernant des données utilisées dans les simulations numériques effectuées pour la résolution du cas du stockage sans remaniement sont notées dans le tableau 12:

Capacité maximale d'une pile	3 conteneurs
Nombre de conteneurs	$N \geq 100$
Nombre de piles	$56 * 5$

Tableau6:Description des instances.

On présente les résultats numériques données par l'algorithme Branch and Bound.

Nb-pile	Nb-conteneur	Type de conteneur	Date d'arrivé	Heur de stockage	temps d'exécution
$56 * 5$	10	20 pied	19/06/2024	11:22:00	28.32sec
	20	40 pied	19/06/2024	11:24:47	25.30sec
	$N_c \geq 30$		Non - efficace		

Tableau7: le Temp d'exécution de Branch and bound.

D'après le tableau visible, on remarque que la méthode ne s'exécute pas lorsque le nombre de conteneurs atteint 30.

Pour organiser et gérer efficacement une zone de stockage massive composée de 5 blocs, où chaque bloc contient 56 piles et chaque pile comporte 6 étagères, il est nécessaire d'adopter des stratégies efficaces adaptées à la grande taille et à la complexité de l'espace. À partir du tableau précédent, il est

clair que les méthodes Branch and bound peuvent ne pas être suffisantes pour résoudre ces problèmes complexes.

Remarque : Cette technique donne de bons résultats pour les problèmes de petite taille.

3.3.3 Résultat de Colonies d’abeilles :

On présente les résultats numériques donnés par l’algorithme BC

Nb conteneur déjà stocké	Nb conteneur arrivé	Nb-itération	Nb d’abeille employées	Nb d’abeilles butineuses	Nb D’abeilles Observatrices	Temps d’exécution
20	100	100	100	50	50	153 sec
120		50	100	50	50	139 sec
220		20	20	10	10	54 sec
320		10	20	10	10	39 sec
420		10	20	100	100	65 sec
520	217	10	20	10	10	74sec

tableau8: les valeurs pratique de l’algorithme BC.

Dans le tableau précédent, nous remarquons que plus le nombre de répétitions (itérations) augmente, plus le temps d'exécution est long.

Interprétation : Les résultats du tableau 9 montrent que, lorsque l'on considère le cas du stockage sans remaniements et où l'on regroupe les conteneurs par catégorie, les durées d'exécution nécessaire de l’algorithme Brand and Bound augmentent ainsi que la taille de mémoire nécessaire. Cependant, on peut également constater que l'algorithme de colonie d'abeilles est assez rapide et qu'il donne de bonnes solutions. En plus de cela, il est capable de résoudre rapidement des instances qui n'ont pas pu être résolues par le Branch and Bound. Une comparaison entre les deux algorithmes Branch end Bound et l'algorithme des colonies d’abeilles est donnée dans le tableau 11.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Nombre de conteneur	Type de conteneur	Numéro de pile	Numéro d'étage	Numéro de conteneur	Date de stockage	Numéro de bloc
100	20 pieds	1	1	1112,1111,1	26/6/2024	Bloc 1
			2	666,691,796		
			3	116,555,888		
			4	465,123		
			5	166,199		
			6	777,169,115		
		Pile2	1	140,122,116		
			2	21,20,19		
			3	36,35,47		
			4	42,43,44		
			5	59,57,55		
			6	56,54,53		
		Pile3	1	52,51,69		
			2	68,67,66		
			3	65,64,63		
			4	61,62,79		
			5	78,77,76		
			6	75,74,73		
		Pile4	1	72,71,89		
			2	88,87,86		
			3	85,84,83		
			4	82,81,99		
			5	98,97,96		
			6	95,94,93		

Tableau9: Plan optimal de stockage fourni par le programme BC pour la date de déchargement 26/06/2024

Interfaces de l'application

```
class BeeColony:
    def optimize(self):
        return solution

def colony(data, items):

    num_employed = 10
    num_onlookers = 20
    num_scouts = 20
    num_iterations = 20

    capacity = data['block']
    bee_colony = BeeColony(items, capacity, num_employed, num_onlookers, num_scouts, num_iterations)
    solution = bee_colony.optimize()

    result = {}
    for space_id, items in solution.items():
        # item_list = ', '.join(items)
        result[f'{space_id}'] = items

    with open(os.path.join(os.path.dirname(__file__), 'data.json'), 'rt') as f:
        data = json.load(f)
        for b in data:
            for k, v in b.items():
                if k == "block":

                    try:
                        count = 0
```

```
class BeeColony:
    def __init__(self, items, spaces, num_employed=10, num_onlookers=10, num_scouts=5, num_iterations=100):
        self.items = items
        self.spaces = spaces
        self.num_employed = num_employed
        self.num_onlookers = num_onlookers
        self.num_scouts = num_scouts
        self.num_iterations = num_iterations
        self.capacities = self.calculate_capacities()

    def calculate_capacities(self):
        capacities = {}
        for space_id, space in self.spaces.items():
            capacities[space_id] = space['free_space']
        return capacities

    def fitness(self, solution):
        return len(solution)

    def generate_initial_solution(self, space, filtered_items, remaining_capacity):
        solution = []
        for item in filtered_items:
            if (item['length'] <= space['length'] and
                item['width'] <= space['width'] and
                item['height'] <= space['height'] and
                item['length'] * item['width'] * item['height'] <= remaining_capacity):
                solution.append(item)
                remaining_capacity -= item['length'] * item['width'] * item['height']
            # solution["type"] = space["container_type"]
```

Figure12: L'implémentation de colonies d'abeilles.

```
def employed_bee_phase(self, space_id, space, filtered_items):
    solutions = []
    for _ in range(self.num_employed):
        remaining_capacity = self.capacities[space_id]
        solution = self.generate_initial_solution(space, filtered_items, remaining_capacity)
        solutions.append((solution, self.fitness(solution)))
    return solutions

def onlooker_bee_phase(self, employed_solutions):
    total_fitness = sum(fitness for _, fitness in employed_solutions)
    if total_fitness == 0:
        return employed_solutions # If total fitness is zero, return the employed solutions as-is

    probabilities = [fitness / total_fitness for _, fitness in employed_solutions]

    onlooker_solutions = []
    for _ in range(self.num_onlookers):
        selected_index = random.choices(range(len(employed_solutions)), weights=probabilities, k=1)[0]
        solution, _ = employed_solutions[selected_index]
        onlooker_solutions.append((solution, self.fitness(solution)))
    return onlooker_solutions

def scout_bee_phase(self, space_id, space, filtered_items):
    scout_solutions = []
    for _ in range(self.num_scouts):
        remaining_capacity = self.capacities[space_id]
        solution = self.generate_initial_solution(space, filtered_items, remaining_capacity)
        scout_solutions.append((solution, self.fitness(solution)))
    return scout_solutions
```

Figure13:Les étapes de colonies d'abeilles

Ces phases représentent le processus itératif de l'algorithme d'optimisation par colonies d'abeilles, où chaque phase vise à améliorer les solutions existantes en générant de nouvelles solutions, en évaluant leur performance et en choisissant les meilleures pour la prochaine itération.

Type de conteneur=20pieds			Type de conteneur=40pieds		
Bloc1			Bloc 5		
Pile1	Etage1	Espace libre=0	Pile 1	Etage 1	Espace Libre=0
	Etage2				
	Etage3				
	Etage4				

Tableau10:l'espace occupé.

Le tableau précédent représente le volume utilisé par les conteneurs déjà stocké sur chaque étagère. Pour plus de clarification, veuillez consulter l'image

block
<p>pile 01/floor 01 block 01</p> <p>Container type : 20p Free sapce : 0 m³ Containing : [{"time": "22-06-2024 14:56:16", "count": 3}]</p>
<p>pile 01/floor 02 block 01</p> <p>Container type : 20p Free sapce : 0 m³ Containing : [{"time": "22-06-2024 14:56:16", "count": 3}]</p>
<p>pile 01/floor 03 block 01</p> <p>Container type : 20p Free sapce : 0 m³ Containing : [{"time": "22-06-2024 14:56:16", "count": 3}]</p>
<p>pile 01/floor 04 block 01</p> <p>Container type : 20p Free sapce : 4000 m³ Containing : [{"time": "22-06-2024 14:56:16", "count": 1}]</p>
<p>pile 01/floor 05 block 01</p> <p>Container type : 20p Free sapce : 6000 m³</p>

Figure14:L'espace occupé dans bloc1

block
<p>pile 01/floor 01 block 04</p> <p>Container type : 40p Free sapce : 0 m³ Containing : [{"time": "22-06-2024 14:56:39", "count": 6}]</p>
<p>pile 01/floor 02 block 04</p> <p>Container type : 40p Free sapce : 4000 m³ Containing : [{"time": "22-06-2024 14:56:40", "count": 4}]</p>
<p>pile 01/floor 03 block 04</p> <p>Container type : 40p Free sapce : 12000 m³ Containing : []</p>
<p>pile 01/floor 04 block 04</p> <p>Container type : 40p Free sapce : 12000 m³ Containing : []</p>
<p>pile 01/floor 05 block 04</p> <p>Container type : 40p Free sapce : 12000 m³</p>

Figure15:L'espace occupé dans bloc 5

Stacked at: 22-06-2024 16:08:33

pile 01/floor 01 block 01 (Type: 20p)
0 Containers
pile 01/floor 02 block 01 (Type: 20p)
0 Containers
pile 01/floor 03 block 01 (Type: 20p)
0 Containers
pile 01/floor 04 block 01 (Type: 20p)
2 Containers
pile 01/floor 05 block 01 (Type: 20p)
3 Containers
pile 01/floor 06 block 01 (Type: 20p)
3 Containers
pile 02/floor 01 block 01 (Type: 20p)
3 Containers
pile 02/floor 02 block 01 (Type: 20p)
3 Containers

Figure16:les résultats de tableau 8 .

3 Containeurs
pile 02/floor 01 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 02/floor 02 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 02/floor 03 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 02/floor 04 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 02/floor 05 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 02/floor 06 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 03/floor 01 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 03/floor 02 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 03/floor 03 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 03/floor 04 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 03/floor 05 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 03/floor 06 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 04/floor 01 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs

pile 04/floor 05 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 04/floor 06 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 05/floor 01 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 05/floor 02 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 05/floor 03 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 05/floor 04 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 05/floor 05 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 05/floor 06 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 06/floor 01 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 06/floor 02 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 06/floor 03 block 01 (Type: 20p)
3 Containeurs
pile 06/floor 04 block 01 (Type: 20p)
4 Containeurs
pile 06/floor 05 block 01 (Type: 20p)
6 Containeurs
pile 06/floor 06 block 01 (Type: 20p)
6 Containeurs

Tableau 11: l'emplacement de conteneur dans chaque étage

3.4 Comparaison de Résultats

D'après les résultats précédents, il apparaît que les algorithmes inspirés du comportement des abeilles sont la solution optimale pour ce problème, étant donné que le problème de stockage est complexe et que l'espace de stockage est très vaste. Cela nous pousse à envisager la méthode optimale qui nous offre des solutions approximatives mais dans un temps mesuré et acceptable.

Colonies d'abeilles	Branch and Bound
<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sont souvent plus rapides à exécuter que les méthodes exactes. • Peuvent fournir des solutions de qualité acceptable dans un temps raisonnable pour des problèmes de grande taille. • Peuvent être adaptées pour divers types de problèmes complexes. <p>Limitations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ne garantissent pas une solution optimale. • La qualité de la solution peut varier en fonction de la configuration des paramètres heuristiques. • Les résultats peuvent dépendre de la nature du problème et de la façon dont l'heuristique est implémentée. 	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fournissent une solution optimale garantie si elles sont exécutées correctement. • Convient pour des problèmes de petite taille où il est possible d'explorer toutes les solutions possibles. • Offrent une garantie mathématique sur la qualité de la solution. <p>Limitations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût en termes de temps de calcul et de mémoire, surtout pour les problèmes de grande taille. • Peuvent devenir impraticables pour des problèmes complexes en raison de leur exigence de parcourir toutes les solutions possibles.

Tableau12:La comparaison entre la méthode exacte et la méthode colonies d'abeilles.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré deux approches majeures pour la résolution du Problème de Stockage de Conteneurs (PSC) : la colonie d'abeilles et la méthode Branch and Bound.

La colonie d'abeilles offre une approche heuristique inspirée par le comportement des abeilles dans la nature, utilisée pour explorer de manière efficace l'espace des solutions potentielles. Cette méthode a démontré sa capacité à trouver rapidement des solutions de bonne qualité, bien que non nécessairement optimales, dans des scénarios de problèmes complexes de PSC.

D'autre part, la méthode Branch and Bound est une technique exacte qui divise le problème en sous-problèmes plus petits et utilise des bornes pour éliminer les branches non prometteuses de manière à garantir une solution optimale ou une approximation précise.

En conclusion, ces deux approches offrent des outils puissants pour résoudre le PSC, chacune avec ses avantages et limitations spécifiques. La colonie d'abeilles se distingue par sa capacité à fournir des solutions rapides et proches de l'optimalité, tandis que Branch and Bound assure une solution exacte, mais nécessite souvent plus de temps de calcul. Le choix entre ces approches dépendra des exigences spécifiques du problème et des ressources disponibles. Pour l'avenir, il est crucial de continuer à développer ces méthodes et à explorer de nouvelles techniques pour améliorer l'efficacité et la précision de la résolution du PSC dans divers contextes logistiques et industriels.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous proposons des contributions scientifiques pour résoudre le problème du stockage des conteneurs dans un port maritime BMT. Ces contributions font suite à une étude approfondie des références pertinentes sur le sujet, ce qui nous a permis de comprendre le contexte et les besoins réels des industries maritimes. Une des conclusions principales auxquelles nous sommes parvenus est la nécessité de systèmes efficaces d'aide à la décision qui permettraient aux planificateurs d'économiser du temps et d'augmenter la productivité du port. Pour répondre à ce besoin, nous avons d'abord réalisé une étude analytique du problème dans laquelle nous avons examiné sa complexité, et proposé de modèle mathématique visant à attribuer le meilleur emplacement à chaque conteneur. Ces modèles prennent en compte les contraintes physiques et logiques du stockage.

Des études préliminaires ont révélé que le port de Béjaïa rencontre plusieurs problèmes, notamment celui de l'espace, ce qui nous a poussés à envisager une utilisation appropriée et organisée des espaces.

Nous avons implémenté l'algorithme Branch-and-Bound, une méthode précise pour résoudre les problèmes. Cependant, son point faible réside dans le temps de calcul et la consommation de mémoire élevés. Pour surmonter ces difficultés et accélérer la résolution des instances de grande taille, nous avons introduit d'algorithme méta-heuristique (colonies d'abeille).

Cette étude m'a permis de réaliser combien le transport maritime est essentiel à l'économie mondiale et à quel point il peut avoir un impact significatif. À titre personnel, j'ai été particulièrement sensible à cette question et je souhaite approfondir mes connaissances, notamment en cherchant à améliorer à la fois le transport et le stockage des conteneurs. De plus, je trouve primordial d'accorder une attention accrue à l'expansion et à l'organisation efficace des zones de stockage.

Ce problème PSC à un impact primordial sur l'économie du pays, par conséquent comme perspectives, d'autres méthodes algorithmiques peuvent être proposées pour sa résolution. Le concept d'hybridation de différentes méthodes pourra être efface pour exploiter les opportunités de chaque méthode à titre d'exemple la méthode le recuit simulé avec l'algorithme d'intelligence en essaim des oiseaux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] «<https://books.openedition.org/pur/53815#authors>».
- [2] B. N. -. Z. Yasser, «impact de la conterisation sur le développement durable cas de BMT ET L'EPB,» université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2015.
- [3] H. Said, « Mémoire de fin de Cycle,Le rôle de la conteneurisation dans le développement du transport,» UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA., 2013.
- [4] <https://www.container-z.com/uploads/files/presentation-5-17.pdf-15.pdf>.
- [5] <https://www.cerl.fr/nos-services/transport-maritime/conteneurs-maritimes-dimensions-et-definitions/>.
- [6] Y. Khadidja, «Optimisation de placement des conteneurs dans un port maritime,» Université d'Oran1, Ahmed Benbella ,Laboratoire d'informatique d'Oran(LIO), 2017.
- [7] N. F. Ndiaye, Algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire, 13 Jan 2016.
- [8] M. K. A. & M. L. Lidia, «Modélisation du stockage des conteneurs au niveau de l'entreprise BMT,» Université Abderrahmane Mira de Béjaia/Mémoire de Master, 2015 – 2016.
- [9] M. M. L. KHAIROUNE, «Probl`eme de Stockage des Conteneurs au niveau BMT,» 2018-2019.
- [10] D. A.Ghani, «Etude exploratoire des problèmes de stockage des conteneurs dans la logistique des terminaux portuaire cas BMT,» Université Abderrahmane Mira de Bejaia, JUIN 2019.
- [11] B. I. & B. M. A. Eldjalil, «Analyse et amélioration de système de stockage dans un terminal portuaire,» 13 juillet 2021.
- [12] A. E. Z. SALMA, «ALGORITHME BRANCH AND BOUND ET APPLICATION AU PROBLÈME TSP,» 2015/2016.
- [13] «<http://bruno.mascret.fr/ia/bees/index.html#biblio3>,» [En ligne]. [Accès le 19 6 2024].
- [14] D. D. Ali, «CHAPITRE 6 : Méthodes de Résolution Exactes Heuristiques et Métaheuristiques,2ème Année Master (M2RTIC),» Département d'informatique,université Msila, 2023/2024.
- [15] «http://ressources.unit.eu/cours/EnsROtice/module_me/co/Mon_Module_15.html».

[16] k. m. & rachidbakhtaoui, «Branch & Bound,» université moulay tahar saida,département informatique, 2018/2019.

[17] B. I. & B. M. A. Eldjalil, «Analyse et amélioration de système de stockage dans un terminal portuaire,» 13 juillet 2021 .

ملخص

النقل البحري يلعب دوراً حاسماً في العولمة الاقتصادية وتفشي الشركات على نطاق عالمي. في قلب إدارة الموانئ تكمن إدارة الحاويات بكفاءة، الأمر الأساسي لسلامة عمل الموانئ البحرية بشكل سلس. تحميل وتفريغ الحاويات هما العمليات الرئيسية التي تواجه تحدي تخزين الحاويات بشكل مثلى، خاصة مع الزيادة المستمرة في حجم الحاويات والقيود المساحية في الموانئ. مشكلة تخزين الحاويات هي مشكلة معقدة، تصنف كصعبة NP، مما يجعل الحل الدقيق مكلفاً جداً من حيث الوقت والموارد. للتغلب على هذا التحدي، يقترح مشروعنا استخدام خوارزمية **Méta-heuristique** تُعرف بمستعمرة النحل لتوفير خطة تخزين مثلى للحاويات أثناء عملية التفريغ. تهدف هذه الخوارزمية إلى تحديد المواقع المثالية لتخزين كل حاوية مع احترام القيود الفعلية للتخزين. الهدف الرئيسي هو خفض تكاليف النقل من خلال تقليل وقت انتظار السفن في الرصيف بفضل خطة تخزين محسنة. لدعم نهجنا، نقارن أداء الخوارزمية **Méta-heuristique** مع خوارزمية الفرع والحد (**Branch and Bound**) الدقيقة، ميزتين القيود في الأخيرة من حيث التكلفة الحسابية عند زيادة عدد الحاويات. دراستنا الحالية تركز على ميناء بجاية، حيث تدير العمليات المينائية شركة بي إم تي (**Bejaia Mediterranean Terminal**)، وهي شركة متخصصة في إدارة محطة الحاويات. باستخدام بيانات حقيقية ومحاكاة، نقيم كفاءة نهجنا المقترح وتأثيراته العملية على تحسين عمليات الموانئ. الكلمات الرئيسية: النقل البحري، مشكلة تخزين الحاويات، تحسين، ميثا-هيوريستيك، فرع وحد، خوارزمية مستعمرة النحل.

Abstract

Maritime transportation plays a crucial role in the economic globalization and corporate global integration. At the heart of port, management lies the efficient handling of containers, essential for the smooth operation of maritime ports. Loading and unloading containers are key operations that present challenges in optimizing container storage, especially with the continual increase in container volumes and spatial constraints at ports.

The container storage problem is complex, classified as NP-hard, making exact resolution highly costly in terms of time and resources. To address this challenge, our project proposes the use of a metaheuristic algorithm called Bee Colony Optimization to provide an optimal container storage plan during unloading. This algorithm aims to determine ideal storage locations for each container while adhering to real storage constraints.

The primary objective is to reduce transportation costs by minimizing vessel-waiting times at the quay through an optimized storage plan. To support our approach, we also compare the performance of the metaheuristic algorithm with the exact Branch and Bound algorithm, highlighting the computational cost limitations of the latter as the number of containers increases.

Our case study focuses on the port of Bejaia, managed by BMT (Bejaia Mediterranean Terminal), a company specializing in container terminal management. Using real data and simulations, we evaluate the effectiveness of our proposed approach and its practical implications for optimizing port operations.

Keywords: Maritime transportation, Container storage problem, Optimization, Metaheuristic, Branch and Bound, Bee Colony algorithm.

Résumé

Les transports maritimes jouent un rôle crucial dans la mondialisation économique et la globalisation des entreprises. Au cœur de la gestion portuaire se trouve la gestion efficace des conteneurs, essentielle pour le fonctionnement fluide des ports maritimes. Le chargement et le déchargement des conteneurs sont des opérations clés qui posent le défi du stockage optimal des conteneurs, en particulier avec l'augmentation constante du volume de conteneurs et les limitations d'espace dans les ports.

Le problème de stockage de conteneurs est complexe, classé comme NP-difficile, ce qui rend la résolution exacte très coûteuse en termes de temps et de ressources. Pour répondre à ce défi, notre projet propose l'utilisation d'un algorithme méta-heuristique appelé colonie d'abeilles (Bee Colony) pour fournir un plan de stockage optimal des conteneurs lors du déchargement. Cet algorithme vise à déterminer les emplacements de stockage idéaux pour chaque conteneur tout en respectant les contraintes réelles de stockage.

L'objectif principal est de réduire les coûts de transport en minimisant le temps d'attente des navires à quai grâce à un plan de stockage optimisé. Pour étayer notre approche, nous comparons également les performances de l'algorithme méta-heuristique avec l'algorithme exact Branch and Bound, en mettant en évidence les limitations de ce dernier en termes de coût computationnel lorsque le nombre de conteneurs augmente.

Notre étude de cas se concentre sur le port de Bejaia, où les opérations portuaires sont gérées par BMT (Bejaia Mediterranean Terminal), une entreprise spécialisée dans la gestion du terminal à conteneurs. En utilisant des données réelles et des simulations, nous évaluons l'efficacité de notre approche proposée et ses implications pratiques pour l'optimisation des opérations portuaires.

Mots clés : Transport maritime, Problème de stockage de conteneurs, Optimisation, Méta-heuristique, Branch and Bound, Algorithme de colonie d'abeilles.