

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAÏA



FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE  
MÉMOIRE DE MASTER  
OPTION : SYSTÈME D'INFORMATION AVANCÉE

Thème

PROBLÈME DE PLACEMENT DANS  
LA GESTION DE STOCK

*Présenté par :*

MERIGHED AISSAM    DEGHBUCHE AKRAM

*Soutenu devant le jury composé de :*

<i>Présidente</i>	Mme KHALED HAYETTE	M.C.B	U. A/MIRA BÉJAÏA
<i>Examineur</i>	M OUZEGGANE REDOUANE	M.A.A	U. A/MIRA BÉJAÏA
<i>Encadrante</i>	Mme YAICI MALIKA	M.C.B	U. A/MIRA BÉJAÏA

Promotion 2023 – 2024

# Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force, la volonté et surtout le courage pour accomplir ce modeste mémoire.

Nous exprimons notre reconnaissance à notre encadrante, Madame YAICI Malika.

Pour ses précieux conseils, ses orientations, sa disponibilité, sa sympathie et le temps qu'il nous a patiemment consacré malgré ses différentes responsabilités.

Nous remercions également les membres du jury qui ont pris la peine de juger ce travail.

Un grand remerciement à nos enseignants et enseignantes qui ont contribué à notre formation, depuis le cycle primaire au cursus universitaire.

On remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de notre travail.

Pour tout, merci infiniment.

# Dédicace

**Je dédie ce modeste travail à :**

À mon père « Bachir », mon exemple éternel, mon soutien moral, et source de joie et de bonheur. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consentis pour mon instruction et mon bien-être.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur maman que j'adore. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagne toujours.

À mes chères sœurs et mes agréables frères « Mahdi », « Salah ». En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout-puissant, vous protège et vous garde.

À mes professeurs et notre encadrante, pour leurs conseils précieux et leur guidance tout au long de mon parcours académique.

À tous mes camarades Aissam, Ilyes, Slimane, Alilou, Wail, Nasro, Nizar, Rayane, Aghiless, Zaki, Chamsou et tous les autres. Je vous souhaite beaucoup de réussite dans votre vie, que Dieu vous protège.

À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail, à tous ceux que j'ai omis de citer

**Akram**

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A ma famille avec tous mes sentiments de respect, d'amour de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleures conditions,

A mes professeurs sans exception, pour leurs efforts a fin de m'assurer une formation solide.

A mon père celui qui m'indique toujours la bonne voie en me rappelant que la volonté fait les grands hommes.

A ma mère celle qui attend toujours avec impatience les fruits de sa bonne éducation.

A mon frère et mes sœurs que je le sais que ma réussite est importante.

A tous mes camarades Akram, Ilyes, Slimane, Alilou, Rayane, Aghiless, Zaki, Chamssou, Fayçal, sid ahmed et tous les reste pour vous, que dieu vous paye pour tous vos bienfaits et vous garde et vous guide dans votre vie.

**Aissam**

# Table des Matières

<b>Table des Matières</b>	<b>I</b>
<b>Table des Figures</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des Tableaux</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des Abréviations</b>	<b>V</b>
<b>Introduction Générale</b>	<b>2</b>
<b>1 La gestion des stock et le problème de placement</b>	<b>3</b>
1 Introduction . . . . .	4
2 Généralité et définition sur la gestion de stock . . . . .	4
2.1 Définition de la notion de stock . . . . .	4
2.2 Les types de stock . . . . .	4
2.3 Définition de gestion de stock . . . . .	5
3 Généralité et définition sur la gestion d'un port à conteneurs . . . . .	5
3.1 Port . . . . .	5
3.2 Conteneur . . . . .	5
3.2.1 Les différents types de conteneurs . . . . .	6
3.2.2 Les dimensions du conteneurs . . . . .	9
3.3 Terminal de conteneurs . . . . .	9
3.4 Le transport maritime . . . . .	10
3.5 La gestion d'un port à conteneurs . . . . .	10
4 Le problème de placement d'un port maritime . . . . .	11
5 Domaines d'application . . . . .	11
5.1 Usine de fabrication . . . . .	11
5.2 Aéroport . . . . .	11
5.3 Centres de distribution . . . . .	12
6 Objectifs des solutions de placement des conteneurs . . . . .	12
7 Conclusion . . . . .	13
<b>2 Approches de résolution du Problème de placement</b>	<b>14</b>
1 Introduction . . . . .	15
2 Les types du placement . . . . .	15
3 Les approches de résolution de problème de placement . . . . .	17
3.1 Programmation mathématique . . . . .	17
3.2 Approches Basées sur les Graphes . . . . .	17

3.3	Algorithmes de Recherche Heuristique . . . . .	18
3.4	Simulation et Optimisation . . . . .	18
3.5	Machine Learning . . . . .	18
3.6	Conclusion . . . . .	19
<b>3</b>	<b>État de l'art sur les approches de résolution du problème de placement</b>	<b>20</b>
1	Introduction . . . . .	21
2	Les articles étudiées . . . . .	21
2.1	Resources Planning for Container Terminal in a Maritime Supply Chain Using Multiple Particle Swarms Optimization (MPSO) . . . . .	21
2.1.1	Problématique . . . . .	21
2.1.2	L'approche proposée . . . . .	21
2.1.3	Les avantages . . . . .	21
2.1.4	Les inconvénients . . . . .	22
2.2	A heuristic procedure for the outbound container space assignment problem for small and midsize maritime terminals . . . . .	22
2.2.1	Problématique . . . . .	22
2.2.2	L'approche proposée . . . . .	22
2.2.3	Les avantages . . . . .	23
2.2.4	Les inconvénients . . . . .	23
2.3	Container storage space assignment problem in two terminals with the consideration of yard sharing . . . . .	23
2.3.1	Problématique . . . . .	23
2.3.2	L'approche proposée . . . . .	24
2.3.3	Les avantages . . . . .	24
2.3.4	Les inconvénients . . . . .	24
2.4	Pricing competition in maritime transportation with blockchain technology and empty container repositioning . . . . .	25
2.4.1	Problématique . . . . .	25
2.4.2	L'approche proposée . . . . .	25
2.4.3	Les avantages . . . . .	25
2.4.4	Les inconvénients . . . . .	26
2.5	Two-stage stochastic programming model for generating container yard template under uncertainty and traffic congestion . . . . .	26
2.5.1	Problématique . . . . .	26
2.5.2	L'approche proposée . . . . .	26
2.5.3	Les avantages . . . . .	27
2.5.4	Les inconvénients . . . . .	27
3	Tableau comparative . . . . .	27
4	Conclusion . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Proposition</b>	<b>30</b>
1	Introduction . . . . .	31
2	Motivation . . . . .	31
3	Algorithme génétique . . . . .	31
4	Exemple illustratif . . . . .	32
5	Les tests . . . . .	37

---

6	Validation . . . . .	39
7	Conclusion . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Conclusion Générale et Perspectives</b>	<b>40</b>
	<b>bibliographie</b>	<b>42</b>

# Table des figures

1.1	La différence entre le conteneur standard et le conteneur high cube. [1]	6
1.2	Conteneur Réfrigéré [1]	7
1.3	conteneur à toit ouvrant [1]	7
1.4	conteneur dangereux [2]	8
1.5	conteneur citerne [1]	8
1.6	conteneur flat rack [1]	9
1.7	Terminal à conteneurs [3]	10
1.8	Disposition d'un terminal maritime spécialisé dans la manutention de conteneurs [4]	11
4.1	Organigramme de l'algorithme génétique (GA) [5]	32
4.2	Table de données	33
4.3	Graphe de l'évolution de la valeur fitness	37
4.4	matrice visuel présente le placement des conteneurs	37
4.5	matrice visuel présente le placement pour le test 1	38
4.6	Graphe de l'évolution de la valeur fitness pour le test 1	38
4.7	matrice visuel présente le placement pour le test 2	38
4.8	Graphe de l'évolution de la valeur fitness pour le test 2	39



# Liste des tableaux

1.1	Tableau des dimensions de conteneur [6] . . . . .	9
2.1	Tableau des Types de placement . . . . .	16
3.1	Tableau comparatif des articles étudiés . . . . .	28

# Liste des symboles

*FCFS* premier arrivé, premier servi

*FIFO* First In First Out

*GA* Genetic Algorithm

*HC* High Cube

*LIFO* Last In First Out

*MPSO* Multiple Particle Swarms Optimization

*NSGA* Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

*NSGA – II* Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

*PL* Programation linéaire

*PLNE* Programmation linéaire en nombres entiers

*PSO* Particle Swarms Optimization

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

La gestion des stocks est une composante essentielle de la logistique et de la chaîne d’approvisionnement des entreprises. Une gestion efficace des stocks permet de répondre aux besoins des clients tout en minimisant les coûts opérationnels, ce qui est crucial dans un contexte de compétitivité accrue. Avec l’avènement des technologies modernes, il est devenu possible de transformer la gestion des stocks grâce à des solutions numériques innovantes.

En effet, avec l’augmentation constante du trafic maritime, les terminaux portuaires font face à des contraintes d’espace de stockage de plus en plus importantes. Il devient donc primordial de développer des solutions innovantes permettant d’optimiser l’utilisation de ces zones de stockage limitées.

Ce travail vise à explorer en profondeur les défis et les solutions liés à la gestion des stocks et au problème de placement. Il s’agit de comprendre les mécanismes fondamentaux de la gestion des stocks, d’analyser les différentes stratégies de placement utilisées dans les ports maritimes, et d’évaluer les approches technologiques et méthodologiques actuelles pour optimiser ces processus. En particulier, nous nous concentrons sur l’application des algorithmes génétiques, une technique d’optimisation inspirée des processus de sélection naturelle, pour améliorer l’efficacité du placement des conteneurs.

Ce travail est structuré en plusieurs chapitres. Le premier chapitre introduit les concepts fondamentaux de la gestion des stocks et du placement, avec une attention particulière aux ports maritimes et terminaux de conteneurs. Nous y expliquons les notions de stock et les différents types de stocks, avant d’aborder la gestion spécifique des conteneurs dans un port maritime.

Le deuxième chapitre explore les différentes techniques et algorithmes utilisés dans le domaine, avec un focus sur les algorithmes génétiques.

Le troisième chapitre se concentre sur les différentes méthodologies qu’on a étudiées dans les articles mentionnés dans ce chapitre, avec un tableau comparatif des méthodologies.

Le dernier chapitre détaille la mise en œuvre de notre approche, avec des résultats expérimentaux et une analyse des performances obtenues.

À la fin, nous terminons notre mémoire avec une conclusion générale et des perspectives.

# 1

## LA GESTION DES STOCKS ET LE PROBLÈME DE PLACEMENT

## 1 Introduction

La gestion efficace des stocks est cruciale pour toute entreprise afin de répondre aux besoins des clients tout en optimisant les coûts. Ce premier chapitre introduit les concepts fondamentaux liés à la gestion des stocks et le problème de placement. Nous allons d'abord définir la notion de stock et les différents types de stocks gérés par une organisation. Puis nous aborderons la gestion des ports maritimes et terminaux de conteneurs, un domaine d'application crucial du problème de placement. Ensuite, on va expliquer c'est quoi le problème de placement dans un port maritime et on va citer quelques autres domaines d'application où se trouve ce problème comme les usines et les aéroports. Enfin, nous verrons quelques objectifs pour une bonne gestion de stock comme l'utilisation de tout l'espace disponible.

## 2 Généralité et définition sur la gestion de stock

Avant de définir la gestion des stocks nous allons nous intéresser tout d'abord à la définition de stock et leurs types.

### 2.1 Définition de la notion de stock

**Définition 1 :**

Selon le dictionnaire de Larousse français, le stock (anglais stock) est :  
« Ensemble des marchandises disponibles sur un marché, dans un magasin, etc. »

**Définition 2 :**

Le stock est la quantité de marchandise qui s'accumule en attendant d'être utilisée, afin de coordonner des flux entrants et sortants à des rythmes variés. Il désigne l'ensemble des biens, possédés par une entreprise, qui ne sont pas encore consommés ou vendus. Pour une entreprise, les stocks représentent les biens achetés, transformés ou à vendre à un moment donné. Le stock représente de manière habituelle, l'ensemble des biens qui interviennent dans le cycle d'exploitation de l'entreprise ou qui peuvent être vendus « en l'état ». Les stocks existent dans tous les secteurs d'activités, ils jouent généralement un rôle de réservoir tampon entre les flux d'entrées et de sorties qui permet à l'entreprise d'être assez flexible et souple dans son fonctionnement. [7]

### 2.2 Les types de stock

On distingue différents niveaux de stock [8] :

- **stock minimum ou d'alerte** : Le niveau de stock le plus bas auquel une entreprise souhaite maintenir ses produits, il s'agit d'un seuil prédéterminé qui déclenche une action lorsque le stock atteint ce niveau
- **Stock de sécurité ou de protection** : Le niveau de stock disponible pour répondre à des situations imprévues telles que retard d'approvisionnement ou commandes exceptionnelles.
- **Stock maximum** : Le niveau de stock qui correspond à la capacité physique maximale de stockage. Au-dessus de ce seuil, le stockage devient coûteux.

- **Stock tampon ou stock délai** : Permet une consommation normale pendant le délai de réapprovisionnement.
- **Stock mort ou dormant** : Correspond à des produits stockés sans sortie depuis un certain temps. S'il s'agit de produits finis, produits périmés...ect ,ils sont soit soldés soit détruits
- **Stock disponible** : Le niveau de stocks qui correspond au stock existant additionner des entrées prévisionnelles et diminué des sorties prévisionnelles

## 2.3 Définition de gestion de stock

### Définition 1 :

« La gestion des stocks se définit comme l'ensemble des activités se rapportant à la planification, à la constitution, au dénombrement, à l'entreposage des stocks et visant à assurer de façon optimale la disponibilité des matières, des composantes, des articles de façon à satisfaire, dans les conditions les plus économiques, les besoins de la production et de la vente » [7]

### Définition 2 :

La gestion des stocks est définie comme une technique de maintien d'un stock suffisant et nécessaire à la maîtrise des problèmes pour être en mesure de contrôler et régler les flux d'entrées et les flux de sortie .Le but de la gestion des stocks est de déterminer les moments et les quantités optimales de commande afin de satisfaire la demande des clients en minimisant les coûts. [9]

## 3 Généralité et définition sur la gestion d'un port à conteneurs

### 3.1 Port

Un port est une zone, souvent située en bord de mer, qui accueille des bateaux, des navires, des cargaisons et des marchandises. Un port sert de point d'opération où les activités de transport portuaire sont généralement effectuées. En d'autres termes, un port dispose d'installations en bord de mer où un navire est amarré pour le déchargement des marchandises et des passagers, la manutention des cargaisons, le déchargement des déchets des navires, le déchargement des déchets des pétroliers, ou la résolution de certains problèmes sur le navire. Parce qu'un port sert également de frontière entre la terre ferme et la mer, il s'agit d'un point critique où les trains et les camions arrivent au port pour décharger, charger, importer ou exporter un certain nombre de cargaisons et de marchandises dans le navire. [3]

### 3.2 Conteneur

Un conteneur est une boîte en acier standard destinée à contenir un produit et utilisée pour le stockage, l'emballage et le transport. Les conteneurs sont largement utilisés dans le transport maritime, aérien et ferroviaire. Ils sont disponibles dans une variété de spécifications de conteneurs pour le transport par bateau. Les marchandises et les produits conservés à l'intérieur d'un

conteneur sont protégés sur plusieurs côtés. Le terme "conteneur" s'applique le plus souvent à des boîtes fabriquées à partir de matériaux en acier très durs. Il existe différentes tailles et différents types de conteneurs utilisés dans le monde entier pour transporter des produits et des marchandises entre les ports maritimes et les terminaux à conteneurs. [10]

### 3.2.1 Les différents types de conteneurs

#### 1. Conteneur standard (Dry container) :

Le conteneur standard est le type de conteneur le plus utilisé dans le transport maritime. Ce type de conteneurs est appelé DRY, car ils n'ont pas de contrôle de température. Ce sont des conteneurs de base pour des marchandises telles que des caisses en bois, en carton ou des palettes. . . etc [6]. En plus, ces conteneurs sont équipés de portes à double battant à l'arrière, ce qui facilite le chargement et le déchargement des marchandises.

#### 2. Conteneur High Cube (HC container) :

Les conteneurs high cube sont des conteneurs standard (dry containers), mais avec une hauteur plus haute. Alors que les conteneurs standard mesurent généralement 8 pieds (2,4 mètres) de hauteur, les conteneurs high cube mesurent environ 9,6 pieds (2,9 mètres) de hauteur. Cette hauteur supplémentaire permet de charger des marchandises qui ont un grand volume [1]. La **figure1.1** présente les différences entre le conteneur standard et le conteneur high cube.



FIGURE 1.1 – La différence entre le conteneur standard et le conteneur high cube. [1]

#### 3. Conteneur Réfrigéré (Refrigerated container) :

Le conteneur réfrigéré est conçu pour contrôler la température et garder leur contenu en bon état pendant le transport. Il est généralement équipé d'un moteur électrique qui régule la température à l'intérieur. Ce type de conteneur est utilisé pour maintenir la chaîne du froid pour les aliments, les produits congelés et les denrées périssables. [1]



FIGURE 1.2 – Conteneur Réfrigéré [1]

**4. Conteneur à toit ouvrant (open top) :**

Le conteneur open-top se caractérise par son toit ouvert. Il est conçu pour permettre le chargement d'objets volumineux non démontables qui ne peuvent pas être facilement chargés par la porte ou de produits trop hauts pour le conteneur [1]. La figur 1.3 présente le conteneur à toit ouvrant.



FIGURE 1.3 – conteneur à toit ouvrant [1]

**5. Conteneur dangereux :**

Ce type de conteneurs est Spécialement conçus pour garantir la sécurité des lieux et des personnes contre les produits dangereux telles que des produits chimiques, des gaz dangereux, produits inflammables ou nuisibles. L'intérieur de ce type de conteneur est souvent pourvu d'étagères permettant d'entreposer et de manipuler les produits sans danger. [2]





FIGURE 1.4 – conteneur dangereux [2]

**6. Conteneur Citerne (Tank Containers) :**

Ce type de conteneur est conçu pour le transport de gaz et de liquides. Ils sont équipés de citernes intérieures en acier inoxydable ou en aluminium pour assurer le transport sûr ces produits dangereuses et sensibles. [1]



FIGURE 1.5 – conteneur citerne [1]

**7. conteneur flat rack :**

Les conteneurs flat rack sont conçus pour le transport de marchandises volumineuses ou lourdes qui ne peuvent pas être accommodées dans un conteneur standard en raison de leurs dimensions ou de leur poids. Ces conteneurs n'ont pas de parois latérales fixes, ce qui permet de charger et de décharger les marchandises par le haut ou les côtés [1]. La figur 1.6 présente le conteneur flat rack.



FIGURE 1.6 – conteneur flat rack [1]

### 3.2.2 Les dimensions du conteneurs

Le **tableau 1.1** ci-dessous est une discription de les différent dimension de les conteneurs :

Les conteneurs	Longueur	Largeur	Hauteur	Volume
Conteneurs de 20 pieds	6,06 mètres	2,44 mètres	2,59 mètres	38,5 mètres cubes
Conteneurs de 20 pieds HC	6,06 mètres	2,44 mètres	2,89 mètres	42 mètres cubes
Conteneurs de 40 pieds	12,19 mètres	2,44 mètres	2,59 mètres	67,7 mètres cubes
Conteneurs de 40 pieds HC	12,19 mètres	2,44 mètres	2,89 mètres	76,4 mètres cubes
Conteneurs de 45 pieds	13,72 mètres	2,44 mètres	2,59 mètres	86 mètres cubes
Conteneurs de 45 pieds HC	13,72 mètres	2,44 mètres	2,89 mètres	89 mètres cubes

TABLE 1.1 – Tableau des dimensions de conteneur [6]

### 3.3 Terminal de conteneurs

Le terminal de conteneurs fait référence à une installation portuaire spécialement conçue pour le chargement, le déchargement, le stockage temporaire et parfois la réparation des conteneurs. Ces installations sont essentielles dans le domaine de la logistique maritime, car elles permettent le transfert efficace des marchandises entre les navires de fret et les modes de transport terrestres, tels que les camions et les trains [3]. La **figure 1.7** ci-dessus illustre le terminal à conteneurs.



FIGURE 1.7 – Terminal à conteneurs [3]

### 3.4 Le transport maritime

Le transport maritime est un type de transport dans lequel un certain nombre de cargaisons, de marchandises et de passagers sont transportés par le navire. C'est ce qu'on appelle aussi l'industrie du transport maritime. Le transport maritime joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale. Sans le transport maritime, il y aura des périodes de récession économique dans le monde entier, et les importations et exportations seront retardées. En outre, le transport du pétrole brut et des matériaux d'une région à l'autre prendrait beaucoup de temps, ce qui aurait pour effet de retarder les importations et les exportations. [3]

### 3.5 La gestion d'un port à conteneurs

La gestion des stocks dans un port maritime implique l'organisation et le contrôle des marchandises, en particulier des conteneurs, pour assurer une efficacité optimale des opérations portuaires liées au transport maritime. Cela comprend la décision de l'emplacement précis de chaque conteneur à son arrivée, en tenant compte de diverses contraintes pour garantir la sécurité et l'efficacité du stockage. Les ports doivent optimiser l'utilisation de leurs zones de stockage limitées pour stocker un maximum de conteneurs, ce qui nécessite souvent l'augmentation des équipements, la formation du personnel, l'extension des terminaux, et une gestion efficace des stocks à tous les niveaux et à tout moment. La gestion des stocks dans un port maritime est cruciale pour maintenir la fluidité des opérations et répondre aux défis de la conteneurisation et de la croissance continue du trafic maritime. La **figure 1.8** présente la Disposition d'un terminal maritime.

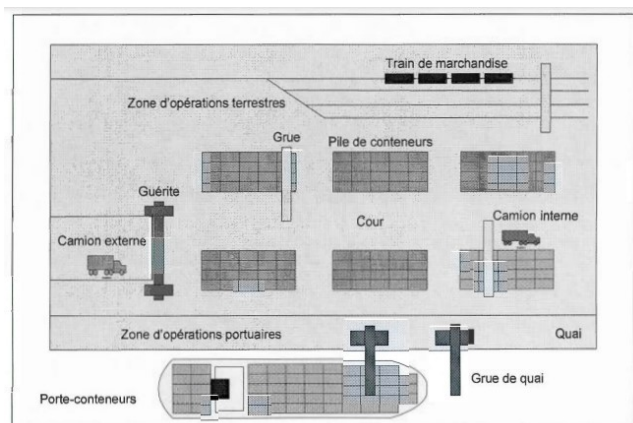


FIGURE 1.8 – Disposition d'un terminal maritime spécialisé dans la manutention de conteneurs [4]

## 4 Le problème de placement d'un port maritime

Le problème de placement d'un port maritime se réfère à la problématique liée à l'optimisation de l'espace de stockage des conteneurs dans les terminaux portuaires. Ce problème est causé par l'augmentation continue du nombre de conteneurs arrivants et l'expansion des ports maritimes [3], ce qui a conduit à des contraintes d'espace de stockage de plus en plus limitées. Ainsi, le problème de placement d'un port maritime consiste à décider de la position exacte d'un conteneur dans la zone de stockage à son arrivée, en prenant en compte diverses contraintes pour garantir la sécurité des conteneurs et du terminal dans son ensemble. Ce problème est crucial pour assurer une gestion efficace de la zone de stockage et réduire les coûts par rapport au transport routier

## 5 Domaines d'application

Dans la gestion des stocks, il y a de nombreux domaines d'application où le problème de placement se pose. On a mentionné quelques domaines :

### 5.1 Usine de fabrication

L'un des problèmes les plus fréquents dans une usine de fabrication est le problème de placement, qui réfère à trouver comment utiliser l'espace disponible dans l'usine. Il peut être difficile de trouver un équilibre entre avoir un espace suffisant pour les machines, la matière première, les opérations et optimiser l'utilisation de l'espace pour améliorer la productivité, réduire les coûts de production et permettre une adaptation rapide aux changements futurs. [11]

### 5.2 Aéroport

Les aéroports sont des infrastructures essentielles dans le transport aérien. L'un des gros problèmes qui face la gestion des stocks dans les aéroports est de trouver la manière optimale d'organiser et de disposer les différents articles et équipements. Cela peut inclure des uniformes personnels, des équipements de maintenance ou des pièces de rechange pour les avions... etc.

Le placement efficace de ces stocks permet de faciliter l'accès et l'utilisation de ces articles, d'optimiser l'espace de stockage et de minimiser les pertes ou erreurs de gestion. [12]

### 5.3 Centres de distribution

Les centres de distribution jouent un rôle essentiel dans la chaîne d'approvisionnement. Il se charge de recevoir les marchandises et de les stocker dans l'attente de leur expédition et de leur distribution chez les grossistes, les détaillants, dans les usines ou dans d'autres entrepôts. Un des principaux défis auxquels les centres de distribution font face est le problème de placement qui concerne l'optimisation de l'emplacement des marchandises dans des entrepôts et des centres de stockage. Cela implique de trouver le meilleur emplacement pour minimiser les coûts de transport, réduire les délais de livraison et optimiser la gestion de stocks. [13]

## 6 Objectifs des solutions de placement des conteneurs

### 1. Optimisation de l'Utilisation de l'Espace :

L'un des défis majeurs auxquels est confronté le port maritime est l'optimisation de l'utilisation de l'espace disponible pour le stockage des conteneurs. Avec une superficie limitée et une demande croissante, il est essentiel de mettre en place des stratégies de placement efficaces afin d'éviter le gaspillage d'espace. Cela passe notamment par une analyse approfondie des modèles de stockage, en tenant compte des différents types de conteneurs, de leurs priorités de livraison et des contraintes logistiques. L'objectif sera de développer des algorithmes d'optimisation permettant de maximiser l'utilisation des zones de stockage, tout en facilitant les opérations de manutention et de transport [14]

### 2. Réduction des Coûts Opérationnels :

La problématique de la réduction des coûts opérationnels liés au placement des conteneurs est également primordiale. Une optimisation du placement peut entraîner des économies substantielles en terme de manutention, de stockage et de transport. Il faudra analyser en détail les différents éléments de coûts, identifier les moyens d'agir et proposer des solutions concrètes, qu'elles soient d'ordre organisationnel, technologique ou logistique. L'objectif est d'augmenter la productivité tout en améliorant la compétitivité du port maritime. [15]

### 3. Gestion Efficace des Flux de Conteneurs :

Il faut s'assurer que les conteneurs entrants soient stockés et sortent du port de manière fluide. Cela demande une bonne coordination entre tous les acteurs impliqués, comme les manutentionnaires, les transporteurs et les douanes. Il y a souvent des blocages qui ralentissent les opérations. Pour améliorer cela, on peut utiliser des technologies modernes pour mieux suivre et contrôler les mouvements des conteneurs. Cela permettrait d'éviter les goulots d'étranglement et de rendre les opérations plus rapides et efficaces. L'objectif est d'avoir un flux continu des conteneurs, sans retards ni problèmes, afin d'augmenter la productivité du port. [15]

### 4. Sécurité et conformité :

Un autre défi majeur pour le port maritime est d'assurer la sécurité et la conformité des opérations de placement des conteneurs. Avec l'augmentation du trafic maritime et la conteneurisation croissante, il est essentiel de garantir que les procédures de stockage

respectent les normes de sécurité. Cela implique de former le personnel aux bonnes pratiques, d'équiper les zones de stockage des dispositifs de sécurité adéquats, et de mettre en place des plans d'urgence en cas d'incident. L'objectif est de créer un environnement de travail sûr et conforme, tout en optimisant l'efficacité des opérations de placement des conteneurs. [14]

## **7 Conclusion**

En conclusion, ce premier chapitre présente les notions clés liées à la gestion des stocks et au problème de placement. Nous avons tout d'abord défini ce qu'est un stock et comment il est géré. Ensuite, nous avons porté notre attention sur le problème de placement dans les ports et son importance. Les différents domaines d'application où ce problème se pose ont également été abordés. Enfin, les objectifs de performance d'une bonne gestion des stocks et du placement ont été détaillés.

# 2

## APPROCHES DE RÉOLUTION DU PROBLÈME DE PLACEMENT

## 1 Introduction

Ce chapitre se penche sur les techniques de placement des produits dans les entrepôts. L'efficacité de ces techniques peut grandement influencer la productivité, les coûts et la satisfaction des clients. Nous commencerons par examiner différentes méthodes de placement, allant du placement aléatoire au placement automatisé, en détaillant leurs avantages, leurs inconvénients et des exemples d'application. Par la suite, nous aborderons diverses approches pour résoudre le problème de placement, incluant la programmation mathématique, les algorithmes basés sur les graphes, les heuristiques de recherche, la simulation couplée à l'optimisation et les contributions du machine learning.

## 2 Les types du placement

Le **tableau 2.1** ci-dessous est un résumé des différents types de placement des produits dans un stock, en décrivant leurs avantages et inconvénients et exemples d'utilisation :



CHAPITRE 2. APPROCHES DE RÉOLUTION DU PROBLÈME DE  
PLACEMENT

Technique de Placement	Description	Les Avantages	Les Inconvenient	Exemples d'Utilisation
<b>Placement Aléatoire [16]</b>	Les objets placés dans n'importe quel emplacement disponible.	Utilisation maximale de l'espace disponible.	Nécessite un système de suivi efficace.	Entrepôts avec un système de gestion des stocks performant.
<b>Placement par Catégorie [17]</b>	Les produits regroupés par type ou famille de produits.	Facilite l'organisation et améliore l'efficacité de la sélection.	Elle risque de ne pas optimiser l'utilisation de l'espace et de réduire la flexibilité des changements.	Entrepôts de détaillants avec produits variés (vêtements, électronique, etc.).
<b>Placement en Bloc [17]</b>	Produits empilés en blocs sans allées ou avec des allées minimales.	Maximisation de l'utilisation de l'espace au sol.	Accès limité aux articles à l'intérieur des blocs (LIFO).	Stockage de produits volumineux
<b>Placement par Fréquence de Rotation (ABC Analysis) [18]</b>	Articles classés par fréquence de rotation ou valeur (A, B, C).	Minimiser le temps de trajet et augmenter l'efficacité de la préparation des commandes.	Nécessite une analyse régulière de la rotation des éléments.	Entrepôts avec grande variété, et différents niveaux de demande.
<b>Placement par Zone [19]</b>	Entrepôt divisé en zones spécifiques pour différents types d'articles.	Amélioration de l'organisation et de la gestion des stocks.	nécessiter une gestion complexe des zones.	Entrepôts multi-clients ou avec processus spécialisés.
<b>Placement Dynamique [19]</b>	Emplacements attribués de manière dynamique selon les besoins et la disponibilité.	Flexibilité et optimisation de l'utilisation de l'espace.	Nécessite un système de gestion en temps réel.	Entrepôts avec grande fluctuation des volumes de stock.
<b>Placement par Taille et Poids [19]</b>	Articles placés en fonction de leur taille et poids.	Maximisation de l'utilisation de l'espace,	Nécessite des équipements spécifiques pour le placement.	Entrepôts avec articles de tailles et poids variés.
<b>Placement par Date de Péréemption (FIFO/-LIFO) [17]</b>	Organisation selon la date de péréemption des articles.	Gestion efficace des stocks des produits qui ont une date d'expiration.	Peut ne pas optimiser l'espace pour certains produits.	Entrepôts de produits alimentaires ou pharmaceutiques.

TABLE 2.1 – Tableau des Types de placement

### 3 Les approches de résolution de problème de placement

Il existe plusieurs approches pour résoudre les problèmes de placement, en fonction du contexte spécifique du problème et des paramètres qui lui sont associées.

#### 3.1 Programmation mathématique

##### Programmation linéaire et programmation linéaire en nombre entiers (PL/PLNE)

La programmation linéaire (PL) est largement utilisée pour modéliser et résoudre des problèmes d'optimisation dans plusieurs domaines, notamment le placement et l'ordre d'objets. Voici comment la PL est appliquée dans ce domaine :

##### Modélisation du problème de placement en PL

- Les variables de décision représentent généralement les positions ou les quantités des objets à placer.
- La fonction objective à optimiser (maximiser ou minimiser) peut être le profit, le coût, l'espace utilisé, etc.
- Les contraintes linéaires modélisent les restrictions comme les limites d'espace et les exigences de positionnement

Une fois le modèle PL formulé, La solution optimale détermine les positions ou quantités des objets à placer selon l'objectif visé. Si les variables doivent prendre des valeurs entières (un nombre entier d'objets), alors la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) est utilisée, bien qu'elle soit plus complexe à résoudre. En résumé, la PL permet de modéliser mathématiquement les problèmes de placement et sa résolution fournit la meilleure solution selon l'objectif défini. [20]

#### 3.2 Approches Basées sur les Graphes

Cette approche exploite la théorie des graphes pour modéliser les relations et optimiser les solutions de manière efficace. Ces méthodes permettent de représenter des objets et leurs interactions sous forme de graphes, où les nœuds (sommets) peuvent représenter des objets ou des emplacements, tandis que les arêtes peuvent représenter des contraintes associées au placement des objets les uns par rapport aux autres. Généralement, cette approche suit une série d'étapes systématiques. [21]

Voici les étapes principales :

1. **Modélisation du Problème** : Cette étape consiste à la définition des nœuds et des arêtes.
  - Nœuds : Représentent les objets ou les emplacements à placer.
  - Arêtes : Représentent les relations entre les objets ou les contraintes de placement,
2. **Construction du Graphe** : Il y a deux types de graphes qu'on peut choisir.
  - Matrices d'Adjacence : Utilisées pour des graphes denses où l'accès rapide aux arêtes est nécessaire.
  - Listes d'Adjacence : Utilisées pour des graphes clairsemés pour une utilisation efficace de la mémoire.
3. **Application des Algorithmes de Recherche** : Une fois que le graphe est construit, différentes techniques de recherche peuvent être utilisées pour trouver une solution satisfaisante. Cela implique l'utilisation des algorithmes de recherche tels que l'algorithme

de Kruskal et Prim, l'algorithme de coloration de graphes, l'algorithme de recherche en profondeur ou d'autres techniques de recherche.

4. **Optimisation et Affinement** : Une fois qu'une solution est trouvée, une vérification de la solution est importante pour assurer que la solution respecte toutes les contraintes initiales du problème. Il est possible d'optimiser le placement en effectuant des ajustements des paramètres de l'algorithme ou une modification de la modélisation du graphe. Cette étape peut être itérative, en améliorant progressivement la qualité de la solution.

### 3.3 Algorithmes de Recherche Heuristique

Les algorithmes de recherche heuristique sont une technique générale pour résoudre le problème de placement, qui consiste à positionner un ensemble de composants dans un stock tout en respectant certaines contraintes définies à l'avance. Ces algorithmes permettent de résoudre des problèmes de grande taille sans garantie d'optimalité. [22]

**Les principales étapes d'une heuristique de placement sont :**

- Générer toutes les positions possibles pour placer une pièce, en considérant éventuellement différentes orientations.
  - Définir une politique de placement pour choisir la meilleure position, selon des critères
- Différentes règles de priorité et de placement des pièces conduisent à des heuristiques différentes. Par exemple : placer d'abord les pièces les plus difficiles à placer.

### 3.4 Simulation et Optimisation

En général, la simulation et l'optimisation sont des techniques puissantes pour résoudre les problèmes de placement dans les systèmes du stock, voici comment elles peuvent aider :

#### **Création d'un modèle détaillé**

La simulation permet de développer un modèle précis et réaliste, en prenant en compte tous les éléments clés les marchandises, les produits, les ressources, les processus, etc.

#### **Test de scénarios sans risque**

Grâce au modèle, il est possible de tester l'impact de changements, d'ajout de ressources, de modification des processus, etc. sans perturber le fonctionnement réel. Cela permet d'évaluer les options avant de les mettre en œuvre.

#### **Optimisation des placements**

Une fois le modèle validé, on peut utiliser des techniques d'optimisation pour déterminer la meilleure configuration en termes de placement des produits, d'affectation des ressources, de précision des zones, etc. L'optimisation vise à maximiser/minimiser productivité, les coûts, les délais.

#### **Réduction des risques**

La simulation permet également d'identifier les faiblesses et les risques liés au problème de placement, tels que les petites zones ou les processus peu fiables. Des mesures peuvent alors être prises pour renforcer ces points. [23]

### 3.5 Machine Learning

Les méthodes de machine learning [24] jouent un rôle important pour résoudre les problèmes de placement Voici comment :

### **Apprentissage supervisé pour la prédiction**

Des algorithmes de régression ou de classification supervisés peuvent être entraînés sur des bases de données de placement pour prédire les meilleures positions pour placer des produits et des marchandises, en fonction de critères et des règles. Cela permet d'optimiser le placement.

### **Apprentissage non supervisé pour le clustering**

Les techniques non supervisées telles que les algorithmes de regroupement (par exemple, K-means) peuvent automatiquement regrouper des produits similaires ou complémentaires afin de déterminer le meilleur placement dans le stock. Cela permet d'organiser l'espace disponible.

### **Apprentissage par renforcement pour l'optimisation**

L'apprentissage par renforcement permet à un agent virtuel d'explorer différentes configurations de position, de recevoir des informations sur ses performances et d'apprendre de manière itérative la meilleure stratégie

### **Combinaison avec la simulation**

Les algorithmes de machine Learning sont souvent couplés à des outils de simulation pour tester et évaluer les solutions de placement proposées. L'objectif du modèle simulé est d'entraîner et de valider les algorithmes avant l'application réelle.

## **3.6 Conclusion**

En conclusion, ce chapitre a souligné le rôle fondamental des techniques de placement dans la gestion efficace des stocks. Nous avons exploré diverses techniques de placement, chacune avec ses avantages et inconvénients spécifiques, adaptées à différents contextes d'entrepôt. Parallèlement, nous avons examiné un ensemble d'approches pour résoudre le problème de placement allant de la programmation mathématique au machine learning. Ces outils offrent des moyens puissants pour optimiser l'utilisation de l'espace, réduire les coûts et accélérer les opérations.

# 3

## ÉTAT DE L'ART SUR LES APPROCHES DE RÉSOLUTION DU PROBLÈME DE PLACEMENT

## 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous explorerons les différentes approches de résolution du problème de placement dans les terminaux à conteneurs. La problématique du placement implique l'optimisation de l'allocation des ressources pour améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire les coûts. En analysant divers articles pour comprendre leurs problématiques et les approches proposées, nous verrons plusieurs techniques allant des heuristiques aux métaheuristiques, pour leur capacité à proposer des solutions efficaces et adaptées aux besoins spécifiques des terminaux à conteneurs. Ce chapitre vise à fournir une vue d'ensemble des stratégies existantes et à évaluer leurs avantages et limitations dans la gestion des terminaux à conteneurs.

## 2 Les articles étudiées

### 2.1 Resources Planning for Container Terminal in a Maritime Supply Chain Using Multiple Particle Swarms Optimization (MPSO)

Rédigé par Hsien-Pin Hsu et Chia-Nan Wang, publié dans la revue « Mathematics » en 2020 [25]

#### 2.1.1 Problématique

La problématique de l'article concerne l'optimisation de l'allocation des ressources, notamment des postes dans les terminaux à conteneurs d'une chaîne d'approvisionnement maritime en général. Le but des auteurs dans ce travail est résoudre ces problèmes en utilisant une approche combinant l'optimisation par la méthode MPSO (essaims de particules multiples) avec une simulation basée sur des événements pour améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire les coûts des opérations portuaires

#### 2.1.2 L'approche proposée

L'approche proposée pour la planification des ressources dans un terminal à conteneurs se base sur l'utilisation des heuristiques et des métaheuristiques telles que FCFS (le premier arrivé, premier servi), PSO (l'optimisation par essaims de particules), PSO2 (l'optimisation par essaims de particules améliorée) et MPSO (l'optimisation par essaims de particules multiples) Ces méthodes sont utilisées pour générer des séquences alternatives de placement des navires dans la première étape du processus de planification, cherchant des solutions optimales pour l'allocation des ressources limitées dans le terminal à conteneurs. En détail elle comprend les étapes suivantes :

1. **Première étape** : Utilisation des heuristiques et des métaheuristiques pour donnée un placement alternative des navires. Les méthodes utilisées pour cette étape sont FCFS, le PSO, le PSO2 et le MPSO.
2. **Deuxième étape** : Utilisation d'une heuristique basée sur la simulation pour placer les navires dans le plan d'amarrage, ajuster les grues de quai et organiser l'entrée et la sortie des navires pour développer des solutions réalisables.
3. **Troisième étape** : choisir la solution optimale obtenue à partir de la combinaison de l'approche de la première étape avec l'heuristique basée sur la simulation.

#### 2.1.3 Les avantages

- Efficacité opérationnelle améliorée : L'utilisation de l'approche MPSO combinée à la simulation permet d'optimiser l'allocation des ressources offre une meilleure utilisation des postes d'amarrage et des grues de quai, améliorant ainsi l'efficacité globale des opérations portuaires.

- Réduction des coûts : solutions obtenus sont plus efficaces en termes de coûts, cette approche peut aider à réduire les coûts d'exploitation du terminal à conteneurs, que permet d'une amélioration globale de rentabilité.
- Prise de décision éclairée : La méthodologie en deux étapes permet de générer des solutions proches de l'optimalité, aidant les planificateurs à prendre des décisions éclairées pour l'allocation des ressources et l'optimisation des opérations portuaires.
- Adaptabilité et flexibilité : L'approche combinant MPSO et simulation basée sur des événements peut s'adapter à différents scénarios, offrant ainsi de la flexibilité dans la gestion des opérations portuaires. Cela permet de mieux répondre aux changements et aux variations de la demande.

#### 2.1.4 Les inconvénients

- Complexité de mise en œuvre : La méthodologie en deux étapes combinant MPSO et simulation basée sur les événements peut nécessiter une expérience et des ressources importantes à mettre en œuvre, que n'est pas disponible pour toutes les organisations
- Sensibilité aux paramètres : Comme toute méthode d'optimisation, l'efficacité de l'approche MPSO dépend de la sélection appropriée des paramètres et des réglages, ce qui peut nécessiter des essais approfondis pour obtenir des résultats optimaux.
- Limitations de la modélisation : La modélisation des processus portuaires et des interactions entre les différentes variables peut présenter des enjeux en termes de représentation précise de la réalité, ce qui pourrait affecter la validité des résultats obtenus.

## 2.2 A heuristic procedure for the outbound container space assignment problem for small and midsize maritime terminals

Rédigé par Guerra-Olivares et al, publié dans le journal international de «Machine Learning and Cybernetics» en 2018 [26]

### 2.2.1 Problématique

Dans les terminaux portuaires, il faut entreposer les conteneurs qui attendent les navires. Cet article propose une méthode pour prendre des décisions tout de suite où mettre chaque conteneur quand il arrive. Pour cela, les auteurs proposent une approche heuristique pour optimiser l'allocation de l'espace des conteneurs sortants dans les terminaux maritimes de petite et moyenne taille.

Ces objectifs sont :

- Réduire le temps de rotation des navires.
- Fournir un outil d'aide à la décision en temps réel
- Minimiser les nombres des placements inutiles

Pour résoudre ce problème, il y a deux modèles présentés dans cet article, un modèle mathématique d'information parfaite (perfect information mathematical model) et une heuristique développée spécifiquement pour les terminaux. Le but est de limiter les déplacements inutiles pour être plus efficace et charger vite les navires.

### 2.2.2 L'approche proposée

L'approche proposée dans l'article pour résoudre le problème d'allocation de l'espace des conteneurs sortants dans les terminaux maritimes de petite et moyenne taille repose sur une procédure heuristique qui utilise un modèle mathématique d'information parfaite pour déterminer les blocs et les baies où stocker chaque groupe de conteneurs, en se basant sur des critères tels que le navire et le port de destination des conteneurs .en suit une procédure heuristique en temps réel qui attribue

un emplacement de stockage à chaque conteneur individuel dans les baies sélectionnées par le modèle. L'article propose une approche heuristique en deux étapes :

1. **Première étape** : Cette étape utilise un modèle mathématique pour déterminer les blocs où stocker chaque groupe de conteneurs sortants, en se basant généralement sur des conteneurs ayant le même navire et le même port de destination.
2. **Deuxième étape** : Une fois les blocs déterminés dans la première étape, cette étape consiste en une procédure heuristique développée pour attribuer un emplacement de stockage à chaque conteneur individuel dans les blocs sélectionnés par le modèle lors de la première étape. Cette étape prend des décisions en temps réel au fur et à mesure de l'arrivée des conteneurs au terminal.

Cette approche en deux étapes permet de planifier à l'avance l'allocation de l'espace en termes de groupes de conteneurs avant l'arrivée, avec une aide à la décision en temps réel lorsque les conteneurs arrivent, ce qui optimise la gestion de l'espace et réduit les mouvements de reprise pendant le chargement du navire.

### 2.2.3 Les avantages

- Planification préalable efficace : L'utilisation d'un modèle mathématique permet une planification préalable de l'allocation de l'espace en fonction des critères spécifiques tels que le navire et le port de destination des conteneurs.
- Réduction des mouvements de reprise : La procédure heuristique en temps réel de la deuxième étape vise à minimiser les mouvements de reprise lors du chargement des navires, ce qui peut contribuer à améliorer l'efficacité opérationnelle du terminal.
- Adaptabilité en temps réel : Cette approche permet d'attribuer des emplacements des conteneurs individuels en temps réel, ce qui facilite la gestion dynamique de l'accès aux conteneurs.

### 2.2.4 Les inconvénients

- Complexité du modèle mathématique : La mise en place d'un modèle mathématique peut nécessiter des ressources importantes en termes de temps et d'expertise.
- Dépendance aux données d'entrée : L'efficacité d'une approche heuristique peut dépendre de la qualité et de la précision des données d'entrée, telles que la séparation des conteneurs et le plan de chargement.
- Limitations de l'heuristique : Bien que la procédure heuristique en temps réel soit conçue pour minimiser les mouvements de reprise, elle peut ne pas toujours garantir une solution optimale dans des scénarios complexes

## 2.3 Container storage space assignment problem in two terminals with the consideration of yard sharing

Rédigé par Xiaoyuan Hu et al, publié dans le journal international «Advanced Engineering Informatics» en (2021) [27]

### 2.3.1 Problématique

Les Terminaux à conteneur manquent de plus en plus d'espace de stockage en raison de l'augmentation des volumes de commerce maritime. Cela crée des embouteillages. Cet article propose une stratégie permettant de partager l'espace de stockage entre un terminal à conteneurs et un port sec (Dry Port) à proximité, Ce dernier dispose d'une capacité de stockage inutilisée pourront servir de



dépôt temporaire pour les conteneurs entrants du terminal, afin de libérer de l'espace. Les auteurs ont créé un modèle mathématique pour choisir la meilleure façon de partager l'espace avec trois objectifs :

- Minimiser la distance de transport entre le terminal, le port sec et les navires.
- Equilibrer les volumes de conteneurs stockés dans les différentes zones.
- Maximiser l'utilisation de l'espace de stockage disponible au port sec.

### **2.3.2 L'approche proposée**

Les auteurs formulent le problème sous la forme d'un modèle de programmation mathématique multi-objectifs, qui vise à minimiser la distance totale de transport, à équilibrer le nombre de conteneurs stockés sur les différentes zones, et à maximiser l'utilisation de l'espace de stockage disponible au port sec. Ils proposent d'utiliser un algorithme génétique NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) qui permet d'obtenir un ensemble de solutions au regard des différents objectifs, car il n'y a pas une solution optimale mais plusieurs compromis possibles. NSGA-II permet de trouver ces différents compromis de manière itérative :

1. La première étape consiste à commencer avec un ensemble initial de solutions possibles générées de manière aléatoire.
2. Chaque solution est évaluée en fonction des 3 objectifs (par exemple, une note de 10 pour chaque objectif).
3. Les meilleures solutions non dominées sont sélectionnées (il n'y a pas de solution meilleure pour tous les objectifs).
4. Ces solutions sont « croisées » et « modifiées » afin d'en produire de nouvelles versions.
5. Ces nouvelles solutions sont réévaluées et les étapes 3-4 sont répétées à plusieurs reprises.
6. Finalement, un ensemble de solutions efficaces qui représentent divers compromis entre les objectifs sera réalisé.

### **2.3.3 Les avantages**

- Permet de résoudre le problème complexe de l'affectation de l'espace de stockage de manière multicritères, en optimisant simultanément plusieurs objectifs.
- Prend en compte des critères importants comme la minimisation des distances de transport et le respect de l'équilibre dans l'utilisation des espaces.
- Vise à maximiser l'utilisation des capacités de stockage du port sec, permettant une meilleure gestion des ressources.
- L'algorithme NSGA-II permet d'obtenir un ensemble de solutions non-dominées optimales au regard des différents objectifs.
- Fournit aux opérateurs portuaires et de port sec des solutions gagnant-gagnant à travers la coopération.

### **2.3.4 Les inconvénients**

- Le modèle mathématique proposé ne prend pas en compte le mixage des conteneurs à l'import et l'export dans les mêmes espaces.
- La question du respect des fenêtres de temps pour les opérations n'est pas traitée.
- Les tests sont réalisés sur des jeux de données restreints, la capacité à passer à l'échelle sur des problèmes de grande taille n'est pas garantie.
- L'algorithme NSGA-II utilisé nécessite des temps de calcul potentiellement importants sur de grands problèmes.

- D'autres critères comme les coûts opérationnels ne sont pas pris en compte dans la formulation du problème.

## 2.4 Pricing competition in maritime transportation with blockchain technology and empty container repositioning

Rédigé par Mingzhu Yu et al, publié dans le journal international «Advanced Engineering Informatics» en (2023) [28]

### 2.4.1 Problématique

L'article explore les possibilités de la technologie blockchain pour optimiser la gestion des placements des biens dans les chaînes d'approvisionnement maritimes. En rendant la localisation des cargaisons transparente et immuable, la blockchain favoriserait une coordination plus efficace entre les acteurs et une allocation dynamique des stocks en fonction de la demande. Cela permettrait d'améliorer la distribution géographique des biens et de réduire les pertes liées au transport et au stockage de marchandises inappropriées ou excédentaires, ce qui entraînerait une amélioration de l'efficacité globale des réseaux logistiques.

### 2.4.2 L'approche proposée

L'article propose une approche basée sur la mise en place d'une plateforme digitale collaborative de gestion des flux de conteneurs vides. Qui peut être considérée comme une solution au problème de placement des conteneurs vides dans les chaînes d'approvisionnement maritimes qui fait référence à la difficulté à positionner les conteneurs à l'endroit où se situe la demande de manière synchronisée. Actuellement, les acteurs placent leur conteneurs d'une manière isolée, Cela conduit à des déséquilibres géographiques avec des surplus de conteneurs vides dans certaines zones et des pénuries dans d'autres. L'approche proposé vise à résoudre ce problème en :

- Créer une base de données partagée et accessible en temps réel donnant la localisation et la disponibilité de chaque conteneur vide dans le monde. Cela permettrait une visibilité globale et une coordination optimisée des réacheminements.
- Développer des algorithmes et des modèles prédictifs pour anticiper l'évolution de la demande en fonction des différents paramètres (saisons, marchés, réglementations etc.).
- Intégrer aux outils digitaux des mécanismes d'enchères inversées (des procédures qui fonctionnent à l'envers d'un enchère classique) qui permettraient aux armateurs de proposer leurs conteneurs vides aux plus offrants et ainsi de trouver le meilleur compromis coût/délai de réacheminement.
- Mettre en place un système de partage des coûts entre l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique afin de répartir de manière équitable les frais engendrés par la mutualisation et l'optimisation des flux de conteneurs vides.
- Centraliser sur cette plateforme l'ensemble des données utiles (positions, disponibilités, historiques, prévisions) afin de fluidifier les échanges d'informations et coordonner les mouvements de conteneurs entre l'ensemble des parties prenantes.

L'objectif est de passer d'une gestion fragmentée et isolée à une approche collaborative basée sur une plateforme numérique permettant une optimisation globale des flux.

### 2.4.3 Les avantages

- Optimisation des flux logistiques et réduction des temps d'attente grâce à une meilleure visibilité et prédictibilité des mouvements de conteneurs vides.

- Diminution des coûts liés au stockage et au réacheminement des conteneurs vides, qui représentent une part importante des dépenses pour les armateurs.
- Partage d'informations en temps réel entre tous les acteurs via une plateforme digitale, ce qui facilite la coordination et l'ajustement dynamique des plans de transport.
- Prise en compte des spécificités et contraintes de chaque partie prenante (ports, armateurs, transporteurs) pour proposer des solutions équilibrées.

#### 2.4.4 Les inconvénients

- Mise en place initiale coûteuse pour développer la plateforme digitale et les outils d'analyse prédictive.
- Nécessité d'un changement dans les habitudes de travail et d'un effort d'adoption de la part de tous les acteurs, notamment les plus petites entreprises.
- Risque de réticence des entreprises à partager toutes leurs informations stratégiques de manière transparente sur la plateforme.
- Difficultés techniques à concilier les systèmes d'information existants et à assurer l'interopérabilité des données.
- Fiabilité et sécurité des données à garantir, notamment face aux risques de cyberattaques dans le domaine maritime.

## 2.5 Two-stage stochastic programming model for generating container yard template under uncertainty and traffic congestion

Rédiger par Junliang Heet al, Publié dans le journal international «Advanced Engineering Informatics» en 2020 [29]

### 2.5.1 Problématique

Cet article présente un modèle de planification de l'espace de stockage dans un terminal à conteneurs, en tenant en compte de deux facteurs clés

- L'incertitude sur la demande de stockage, notamment les fluctuations des volumes de conteneurs à stocker pour chaque navire.
- La congestion du trafic dans la zone de stockage, due à une mauvaise répartition des conteneurs entre les espaces. Cela réduit l'efficacité des activités.

Le problème est donc de générer une matrice de stockage qui assigne des espaces de stockage aux navires de manière optimale pour mieux gérer ces deux facteurs, afin d'optimiser la gestion de l'espace de stockage dans le terminal à conteneurs.

### 2.5.2 L'approche proposée

Les auteurs proposent une approche heuristique qui repose sur une modélisation mathématique sous la forme d'un programme stochastique à deux étapes pour décomposer le problème en sous-problème plus faciles à résoudre :

- **La première étape** consiste à affecter les navires aux cases, sans tenir compte de leur localisation physique.
- **La deuxième étape** consiste à attribuer les emplacements physiques aux affectations générées à la première étape.

Les auteurs utilisent l'algorithme CPLEX qui permet de résoudre les problèmes de programmation linéaire pour résoudre directement le modèle global pour les petites instances (peu de navires ou blocs). Mais pour les grandes instances le problème est trop complexe à résoudre directement avec CPLEX.

Ils ont utilisées un algorithme génétique pour résoudre la première étape du problème, cet algorithme fonctionne selon les principes suivants :

- Codage des solutions sous forme des chromosomes par une matrice d'affectation navire-bloc.
- Génération d'une population initiale aléatoire.
- Évaluation de la fonction objective pour chaque individu.
- Sélection des « parents » pour le croisement.
- Opérateur génétique de croisement et mutation pour explorer l'espace de recherche.
  - **Croisement** : à un point de deux parents pour obtenir des « enfants ».
  - **Mutation** : modification aléatoire de certains gènes d'un individu.
- Décodage des chromosomes et vérification des contraintes.
- Amélioration de la solution en remplacent les anciens individus par les nouveaux enfants.

L'algorithme s'arrête quand il atteint le maximum de génération. Une fois la première étape est résolue, ils obtiennent des « profils » d'affectation, ces profils sont fournis en entrée du modèle de la deuxième étape, après ils sont résolues cette étape avec CPLEX directement.

### 2.5.3 Les avantages

- Prise en compte de l'incertitude sur la demande de stockage des navires et les patterns d'arrivée des conteneurs.
- Stratégie de partage d'espace à deux niveaux entre les sous-blocks voisins, améliorant l'utilisation de l'espace.
- Cadre de résolution efficace combinant un algorithme génétique et une décomposition en deux étapes.
- L'algorithme génétique Peut prendre en compte des contraintes complexes.
- Facile à implémenter et à paralléliser.

### 2.5.4 Les inconvénients

- Pas de garantie d'optimalité globale de la solution trouvée.
- Gestion des embouteillages basée sur des règles expertes et non des modèles physiques.
- Complexité qui augmente fortement avec la taille du problème.
- L'algorithme nécessite de paramétrer correctement les opérateurs génétiques.
- Convergence lente par rapport aux méthodes déterministes.
- Qualité de la solution dépend du réglage des paramètres.
- Coûteux en nombre d'évaluations pour les problèmes de grande instance.

## 3 Tableau comparative

Le tableau 3.1 ci-dessous résume les principales informations telles que l'objectif, la méthode et les performances de chaque article étudié pour une meilleure compréhension de notre analyse.

*CHAPITRE 3. ÉTAT DE L'ART SUR LES APPROCHES DE RÉOLUTION DU  
PROBLÈME DE PLACEMENT*

<b>Articles</b>	<b>Objectif</b>	<b>Méthode</b>	<b>Performance</b>
Hsien-Pin Hsu et al. [25]	Optimisation d'allocation des ressources rares dans les terminaux de conteneurs.	L'optimisation par multiples essais de particules (MPSO).	- Amélioration de l'efficacité opérationnelle et réduction des coûts. - Flexibilité et adaptabilité
Guerra-Olivares et al. [26]	L'allocation de l'espace des conteneurs sortants dans les terminaux maritimes de petite et moyenne taille en Amérique latine.	1. Modèle mathématique pour déterminer les blocs de stockage. 2. Procédure heuristique en temps réel.	- Planification préalable efficace - Réduction des mouvements de reprise. - Adaptabilité en temps réel.
Xiaoyuan Hu et al. [27]	Minimiser la distance de transport, équilibrer les volumes stockés et maximiser l'utilisation de l'espace.	Modèle de programmation mathématique multi-objectifs utilisant l'algorithme génétique NSGA-II.	- Minimisation des distances de transport. - Maximisation de l'utilisation de l'espace.
Mingzhu Yu et al. [28]	La résolution du problème des conteneurs vides dans les chaînes d'approvisionnement maritimes.	Création d'une base de données partagée. Développement d'une plateforme numérique collaborative. Intégration d'enchères inversées.	- Optimisation des flux des conteneurs vides.
Junliang He et al. [29]	Optimiser la gestion de l'espace de stockage en tenant compte de l'incertitude et de la congestion du trafic.	L'algorithme génétique et le logiciel commercial CPLEX.	- Efficacité dans la minimisation du risque de conteneurs sans emplacements disponibles et des distances de transport.

TABLE 3.1 – Tableau comparatif des articles étudiés

## **4 Conclusion**

En résumé, dans ce chapitre, nous avons exploré les multiples approches proposées dans les articles revues afin de résoudre le problème de placement dans les terminaux portuaires. Nous avons identifié plusieurs approches intéressantes, utilisant des techniques telles que l'optimisation par essais particuliers, les heuristiques et les métaheuristiques.

Parmi ces approches, nous avons observé l'efficacité des algorithmes génétiques, mentionnés dans plusieurs articles. Ces algorithmes peuvent gérer des contraintes complexes et sont faciles à implémenter et à paralléliser. Ils résolvent le problème de l'affectation de l'espace de stockage de manière multicritères, optimisant plusieurs objectifs simultanément, comme la minimisation des distances de transport et l'équilibre de l'utilisation des espaces. Par exemple, l'algorithme NSGA-II qui produit des solutions non-dominées optimales, offrant des solutions gagnant-gagnant aux opérateurs portuaires.

Pour ces raisons, nous avons opté pour notre prochain chapitre d'explorer l'utilisation des algorithmes génétiques en profondeur dans notre contexte.

# 4

## PROPOSITION

# 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons explorer les algorithmes génétiques, une méthode d'optimisation inspirée par l'évolution naturelle. Ces algorithmes, développés dans les années 1960, offrent une approche innovante pour résoudre des problèmes complexes en informatique. Nous allons découvrir comment ces algorithmes fonctionnent et comment ils peuvent être utilisés pour trouver des solutions efficaces à divers défis. En se basant sur les principes de la sélection naturelle et de la génétique, les algorithmes génétiques passent par plusieurs étapes clés pour trouver la meilleure solution possible. Nous allons examiner ces étapes et voir comment elles peuvent être appliquées dans des situations pratiques, telles que le placement de conteneurs dans un terminal. En explorant les applications concrètes des algorithmes génétiques et en comprenant leur fonctionnement, nous espérons acquérir des connaissances précieuses pour résoudre des problèmes complexes en informatique et dans d'autres domaines.

## 2 Motivation

Afin de réduire l'espace dans l'entrepôt portuaire et d'améliorer le temps de stockage, nous avons choisi une approche visant à optimiser le placement des conteneurs dans les terminaux à conteneurs. Bien qu'il existe différentes approches dans plusieurs catégories, nous nous sommes concentrés sur l'utilisation d'un algorithme génétique pour placer les conteneurs en fonction de plusieurs paramètres, à savoir l'espace disponible, le temps de stockage, le contenu et les dimensions du conteneur. L'algorithme génétique nous permet de résoudre ce problème de manière optimale et offre de meilleures performances et une plus grande flexibilité dans les problèmes complexes. Cette approche nous permet de trouver la bonne solution qui satisfait la direction du port en termes de qualité et de temps de réponse.

## 3 Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques ont été développés dans les années 1960 par John Holland, un chercheur en informatique et en biologie de l'Université du Michigan. Inspiré par les principes de l'évolution naturelle, Holland a créé un cadre mathématique et informatique pour résoudre des problèmes d'optimisation et de recherche. Son objectif était de modéliser le processus d'évolution biologique pour l'appliquer à des systèmes artificiels, créant ainsi un algorithme capable d'explorer efficacement de vastes espaces de solutions potentielles. En 1975, Holland a formalisé ses idées dans son ouvrage "Adaptation in Natural and Artificial Systems", établissant les bases théoriques des algorithmes génétiques et ouvrant la voie à leur développement et à leur application dans divers domaines, tels que l'optimisation des paramètres, l'apprentissage automatique et la recherche opérationnelle. [30]

Un algorithme génétique est une méthode d'optimisation et de recherche basée sur les principes de la sélection naturelle et de la génétique. Il fonctionne en simulant le processus d'évolution biologique pour générer des solutions à des problèmes complexes. Il passe par plusieurs étapes clé.

1. **Initialisation** : Génération d'une population initiale de solutions potentielles, souvent représentées sous forme de chaînes de caractères ou de vecteurs appelés chromosomes.
2. **Évaluation** : Chaque solution (ou individu) de la population est évaluée en utilisant une fonction de fitness qui mesure sa qualité ou son adaptation au problème donné.
3. **Sélection** : Les individus les mieux adaptés sont sélectionnés pour reproduire, en utilisant des méthodes telles que la roulette, le tournoi ou la sélection par rang.



4. **Croisement** : Les individus sélectionnés sont combinés pour produire une nouvelle génération de solutions en échangeant des segments de leurs chromosomes, ce qui permet de créer des descendants avec des caractéristiques des deux parents.
5. **Mutation** : Des modifications aléatoires sont apportées aux chromosomes des descendants pour introduire de la diversité génétique et éviter la stagnation dans des optima locaux.
6. **Remplacement** : La nouvelle génération remplace tout ou partie de l'ancienne population, et le processus se répète jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint, tel qu'un nombre maximal de générations ou une convergence vers une solution satisfaisante.

Les algorithmes génétiques sont particulièrement utiles pour résoudre des problèmes complexes et vastes, où les méthodes traditionnelles de recherche sont inefficaces. Ils sont largement utilisés dans plusieurs domaines pour des tâches telles que la conception de circuits, l'optimisation de portefeuilles financiers et la prédiction de structures protéiques.

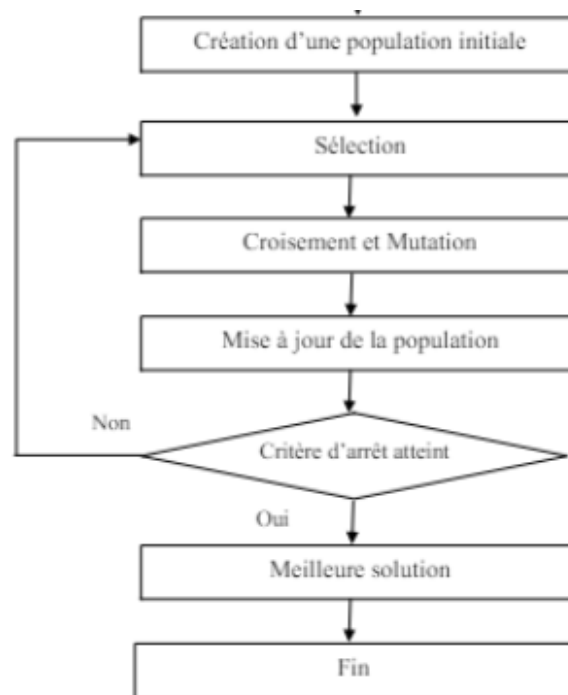


FIGURE 4.1 – Organigramme de l'algorithme génétique (GA) [5]

## 4 Exemple illustratif

Dans cette partie, nous allons détailler les principales étapes d'un algorithme génétique qu'on a utilisé pour résoudre le problème de placement dans un terminal à conteneurs où chaque conteneur a une taille (dimension), un type et une durée de stockage spécifique. On a commencé par définir les différents contraintes pour l'évaluation de chaque solution. Ensuite on a distingué les paramètres d'entrée.

### Les contraintes

**Incompatibilité des Types** : Les conteneurs de types incompatibles ne sont pas adjacents pour des raisons de sécurité ou de compatibilité. Par exemple : les conteneurs dangereux et les

conteneurs qui contiennent des produits alimentaires.

**La durée de stockage :** Les conteneurs qui ont une courte durée de stockage doivent être placés près de la sortie pour minimiser le temps et les efforts nécessaires pour les sortir.

**Différences de Taille :** Les conteneurs de tailles différentes ne doivent pas être placés côte à côte pour éviter des problèmes de stabilité.

## Les paramètres

**Nombre de conteneurs :** 10 conteneur

**Types de conteneurs :** Standard, Dangereux, Réfrigéré

**Tailles de conteneurs :** Deux taille 20pieds et 40 pieds

**Durées de stockage :** Des valeurs aléatoire allant de 2 à 300 jours

**Position de la sortie :** est la position (3, 0) dans la matrice

## Les données

Les données des conteneurs qu'on a utilisées dans cette implémentation contiennent des valeurs aléatoires fournies dans un tableau (**Figure 4.2**) contenant les identifiants (ID), les types (Type), les tailles (Taille) et les durées de stockage.

ID	Type	Taille	Duree_stockage
0	C0 dangereux	40	200
1	C1 Réfrigéré	40	100
2	C2 standard	20	20
3	C3 dangereux	40	29
4	C4 Réfrigéré	40	77
5	C5 standard	20	300
6	C6 dangereux	40	78
7	C7 Réfrigéré	40	2
8	C8 standard	20	11
9	C9 standard	20	3

FIGURE 4.2 – Table de données

## Les étapes de l'Algorithme Génétique

### 1. Génération de la Population :

Pour créer un ensemble de solutions de départ, nous générons plusieurs dispositions aléatoires des conteneurs. Chaque disposition est une liste différente des identifiants des conteneurs (ID). Cela signifie que nous mélangeons les ID des conteneurs de manière aléatoire pour obtenir différentes configurations initiales.

**Exemple :** Nous avons 10 conteneurs (C0, C1, C2, ..., C9), Donc une disposition aléatoire pourrait être :

[ 'C2', 'C5', 'C1', 'C9', 'C7', 'C4', 'C3', 'C6', 'C0', 'C8' ].

### 2. La fonction Fitness :

La fonction de fitness évalue la qualité d'une disposition de conteneurs avec le score pour chaque disposition. Elle calcule des pénalités (score) pour chaque individu de la population :

Initialisation du score (score = 0)

Incompatibilités de type entre conteneurs adjacents.

```
# Type comparison
actual_type = df.loc[df["ID"] == container_id, "Type"].values[0]
next_type = df.loc[df["ID"] == next_container_id, "Type"].values[0]
if actual_type == next_type:
    score += step_type
else:
    score -= step_type
```

Distance par rapport à la sortie pour les conteneurs ayant une courte durée de stockage.

```
# Duree_stockage comparison
actual_duration = df.loc[df["ID"] ==
                        container_id, "Duree_stockage"].values[0]
next_duration = df.loc[df["ID"] == next_container_id, "Duree_stockage"]
                    .values[0]
if actual_duration <= next_duration:
    score += step_duration
else:
    score -= step_duration
```

Différence de taille entre conteneurs adjacents.

```
# Taille comparison
actual_size = df.loc[df["ID"] == container_id, "Taille"].values[0]
next_size = df.loc[df["ID"] == next_container_id, "Taille"].values[0]
if actual_size == next_size:
    score += step_size
else:
    score -= step_size
```

### 3. Sélection :

Utilisation de la sélection par tournoi pour choisir les meilleurs individus (dispositions) pour la reproduction. Deux individus sont sélectionnés aléatoirement et le meilleur selon la fonction de fitness est choisi.

**Exemple :** Si nous avons deux dispositions La disposition avec le le meilleur score sera sélectionnée. :

```
['C1', 'C2', 'C3', 'C4', 'C5', 'C6', 'C7', 'C8', 'C9', 'C0'] .
['C9', 'C8', 'C7', 'C6', 'C5', 'C4', 'C3', 'C2', 'C1', 'C0'] .
```

### 4. Croisement :

Réalisation du croisement à un point entre les parents sélectionnés pour produire de nouveaux individus (enfants). Un point de croisement est choisi aléatoirement, et les segments des parents sont échangés pour créer les enfants.

**Exemple :** Si nous avons deux parents :

Parent 1 : ['C1', 'C2', 'C3', 'C4', 'C5', 'C6', 'C7', 'C8', 'C9', 'C0']

Parent 2 : ['C9', 'C8', 'C7', 'C6', 'C5', 'C4', 'C3', 'C2', 'C1', 'C0']

Avec un point de croisement à 5, les enfants peuvent être :

Enfant 1 : ['C1', 'C2', 'C3', 'C4', 'C5', 'C9', 'C8', 'C7', 'C6', 'C0']

Enfant 2 : ['C9', 'C8', 'C7', 'C6', 'C5', 'C1', 'C2', 'C3', 'C4', 'C0']

## 5. Mutation :

La mutation aide à explorer de nouvelles configurations de conteneurs, ce qui peut améliorer le score de fitness en évitant de se coincer dans des solutions sous-optimales.

**Exemple :**

Avant la mutation, l'individu était

['C0', 'C1', 'C2', 'C3', 'C4', 'C5', 'C6', 'C7', 'C8', 'C9'].

Après la mutation, un échange a eu lieu entre les positions 2 et 8, résultant en

['C0', 'C1', 'C8', 'C3', 'C4', 'C5', 'C6', 'C7', 'C2', 'C9']

## 6. Évolution :

Répétition des étapes de sélection, de croisement et de mutation sur plusieurs générations pour améliorer progressivement la population de solutions.

## 7. Algorithme :

**Algorithm 1** Genetic Algorithm for Container Placement Optimization

---

**Require:**  $nconteneurs$ ,  $SORTIE\_POSITION$ ,  $PENALTY\_SHORT\_STORAGE$ ,  
 $SHORT\_STORAGE\_THRESHOLD$ ,  $duree\_max$ ,  $population\_size$ ,  $generations$ **Ensure:** le placement optimal des conteneurs dans la matrice et son score de fitness

```
1: Début
2: Générer une population initiale de dispositions aléatoires de conteneurs
3: Évaluer chaque disposition avec la fonction de fitness
4: Mémoriser la meilleure disposition
5:  $t \leftarrow 0$ 
6: while  $t \leq generations$  do
7:   for chaque disposition dans la population do
8:     Sélectionner deux parents par sélection de tournoi
9:     Appliquer le croisement pour générer des enfants
10:    Ajouter les enfants à la nouvelle population
11:    Appliquer des mutations aléatoires à un individu avec une certaine probabilité
12:    Évaluer les nouvelles dispositions avec la fonction de fitness
13:    Classer les dispositions selon leur score de fitness
14:    Mettre à jour la population en gardant les meilleures dispositions
15:   end for
16:    $t \leftarrow t + 1$ 
17: end while
18: Sorties : le placement optimal des conteneurs dans la matrice et son score de fitness
19: Fin
```

---

## 8. Implémentation :

Pour l'implémentation de notre algorithme, nous avons utilisé PYTHON comme langage de programmation avec les bibliothèques random pour la création des valeurs aléatoires des données, pandas pour la manipulation et l'analyse des données. Elle fournit un puissant objet tableau multidimensionnel (ndarray), ainsi que des fonctions pour manipuler ces tableaux de manière efficace, et Matplotlib pour la visualisation des résultats que nous avons obtenus après l'implémentation du code, qu'ils sont le graphe de l'évolution de la valeur fitness et la matrice visuelle du placement des conteneurs.

## 9. Scénario d'exécution :

L'algorithme génétique trouve une disposition de conteneurs qui optimise la fonction de fitness définie. En placant les conteneurs selon les critères mentionnée. Le programme nous donne la valeur maximum de fonction fitness ( **la figure 4.3** présente l'évolution de la valeur fitness par rapport à chaque génération) et le placement optimal des conteneurs dans la matrice avec la sortie (3,0) en couleur orange. ( **la figure 4.4** présente le placement optimale des conteneurs ).

**Exemple :** Best score fitness : 270

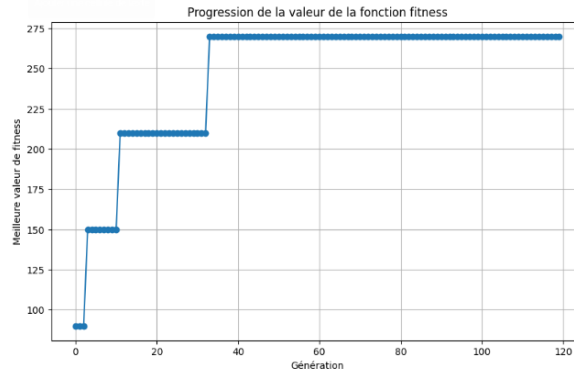


FIGURE 4.3 – Graphe de l'évolution de la valeur fitness

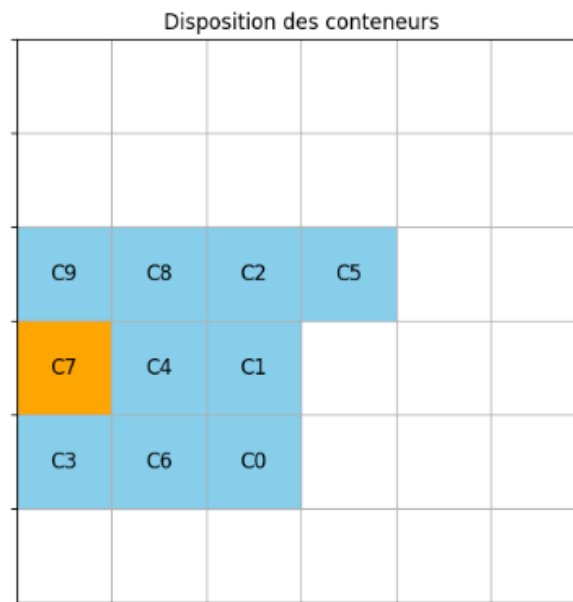


FIGURE 4.4 – matrice visuel présente le placement des conteneurs

## 5 Les tests

Pour cette partie, nous avons utilisé différents ensembles de données générés de manière aléatoire afin d'assurer une validation solide et complète de notre proposition. Les ensembles de données utilisés incluent :

**teste 1 :** Dans ce premier test, nous avons implémenté notre code sur un ensemble de données de 50 conteneurs avec des valeurs de taille (dimension) et de durée de stockage aléatoire. Dans ce cas, on a défini 3 types de conteneurs.

Les résultats qu'on a obtenue pour le dataset 1 sont mentionnées dans la figure4.5et la figure 4.6

Disposition des conteneurs

C43	C3	C30	C10	C0	C16	C26	C23	C46	C36	C13	C20	C33	C40	C6					
C41	C14	C47	C27	C37	C44	C11	C21	C24	C4	C1	C17	C7	C34	C31					
C18	C28	C25	C32	C29	C42	C9	C12	C39	C2	C38	C49	C45	C15	C5	C48	C8	C35	C22	C19

FIGURE 4.5 – matrice visuel présente le placement pour le test 1

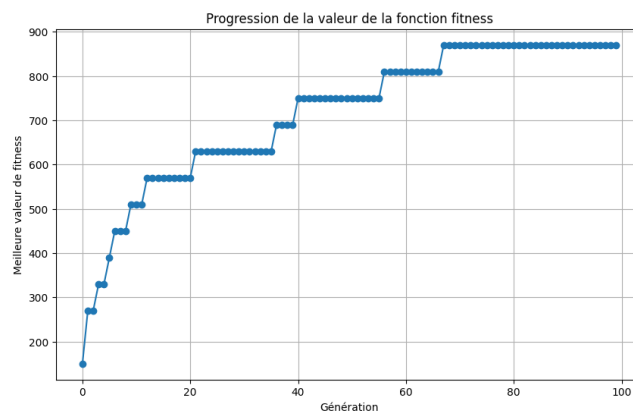


FIGURE 4.6 – Graphe de l'évolution de la valeur fitness pour le test 1

**test 2 :** Pour le deuxième test, nous avons implimenté notre algorithme sur un ensemble de données de 30 conteneurs avec des valeurs de taille (dimension) et de durée de stockage aléatoire. Dans ce cas, on a défini 5 types différents.

Les résultats qu'on a obtenue pour le deuxième test sont mentionnées dans la figure 4.7 et la figure 4.8

Disposition des conteneurs

C29	C18	C28	C1	C26	C15	C8	C21	C22												
C25	C17	C2	C12																	
C6	C16	C11	C9	C5	C19															
C13	C20	C0	C23	C3	C10															
C24	C4	C27	C7	C14																

FIGURE 4.7 – matrice visuel présente le placement pour le test 2

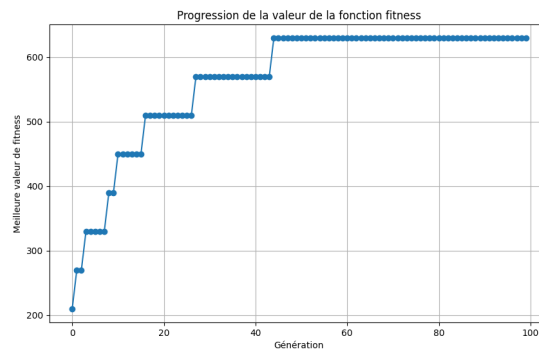


FIGURE 4.8 – Graphe de l'évolution de la valeur fitness pour le test 2

## 6 Validation

Nous avons constaté que les résultats étaient conformes aux exigences et aux critères fournis :

Les conteneurs sont disposés de manière optimale. Le conteneur dont le temps de stockage est le plus court est placé le plus près de la sortie, tandis que celui dont le temps de stockage est légèrement plus long est placé dans la cellule adjacente ensi de suit. Les conteneurs de même type sont regroupés, de même que ceux de taille similaire. Le temps d'exécution de l'algorithme pour 10 conteneurs a été de 1,3 minute et de 10 minutes pour 70 conteneurs et de 14 MB pour l'espace de mémoire qu'il a occupé. C'est une chose qu'on veut améliorer dans la future.

## 7 Conclusion

En résumé, les algorithmes génétiques sont une méthode intéressante pour résoudre des problèmes complexes en s'inspirant de l'évolution naturelle. Ce chapitre nous a permis de découvrir comment ces algorithmes fonctionnent et comment ils peuvent être appliqués dans divers domaines. Leur capacité à trouver des solutions efficaces en explorant différentes possibilités ouvre de nouvelles perspectives pour l'optimisation informatique. En continuant à explorer et à expérimenter avec les algorithmes génétiques, nous pourrons développer de nouvelles approches pour résoudre des défis variés de manière innovante.



# 5

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Dans ce travail, nous avons exploré en profondeur les défis et les solutions liés à la gestion des stocks et au problème de placement dans les ports maritimes. Nous avons analysé diverses stratégies et techniques, en mettant particulièrement l'accent sur l'application des algorithmes génétiques pour optimiser le placement des conteneurs. Ces algorithmes permettent d'explorer diverses solutions et d'améliorer l'efficacité du placement en réduisant les coûts et en maximisant l'utilisation de l'espace disponible.

Nos résultats montrent que l'application des algorithmes génétiques permet non seulement de résoudre des problèmes complexes de manière efficace, mais aussi d'ouvrir de nouvelles perspectives pour l'optimisation informatique dans divers domaines. L'algorithme génétique s'est révélé particulièrement pertinent en raison de sa capacité à gérer des espaces de solutions vastes et complexes, et à converger vers des solutions optimales ou quasi-optimales. En poursuivant l'exploration et l'expérimentation de ces techniques, nous serons en mesure de concevoir de nouvelles approches innovantes pour répondre à des défis variés.

Enfin, notre travail met en lumière l'importance de l'innovation technologique dans la gestion des stocks et le placement des conteneurs, démontrant que les avancées dans ce domaine peuvent renforcer considérablement la compétitivité des entreprises opérant dans des environnements logistiques complexes.

### **Perspectives :**

Pour l'avenir, nous envisageons plusieurs axes de recherche et de développement afin de approfondir et d'élargir les résultats de ce travail :

- Évaluer et comparer diverses méthodes d'optimisation pour déterminer leur efficacité relative dans différents contextes logistiques.
- Développer une application temps réel pour donner l'état du terminal à conteneurs et proposer des solutions basées sur l'algorithme génétique.
- Incorporer l'intelligence artificielle et le machine learning pour développer des systèmes de gestion des stocks plus intelligents et adaptatifs.

# Bibliographie

- [1] “Les différents types de conteneur et leur utilisation.” <https://compagnie-francaise-du-conteneur.fr/blog/les-differents-types-de-conteneur-et-leur-utilisation>, Consulté le : 26/02/2024.
- [2] “Conteneurs de produits dangereux.” <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/conteneur-pour-produits-dangereux> Consulté le : 26/02/2024.
- [3] K. H. Firooz, Minsoo Lee, and M. Tavakoli, “Arrangement and placement of containers in a container terminal,” 2022.
- [4] J. DUBREUIL, “La logistique des terminaux portuaires de conteneurs.”
- [5] K. Höschel and V. Lakshminarayanan, “Genetic algorithms for lens design : a review,” *Journal of Optics*, vol. 48, pp. 134–144, 2019.
- [6] G. Coste, “Conteneur : définition, dimensions, types et outils de suivi pour le transport,” 2020. <https://www.appvizer.fr/magazine/transport/gestion-transports/conteneur-definition> Consulté le : 13/01/2024.
- [7] C. Mauguet, “Définition de stock,” 2019. <http://agicap.com/fr/article/methodesde-gestion-des-stocks/> consulté le : 13/11/2023.
- [8] G. Lasnier, “Le stock logistique : fonction et limites,” <https://www.faq-logistique.com/Stock-Logistique.htm>.
- [9] D. Aissani, B. Rabta, and Z. Mouhoubi, *Techniques Avancées de Gestion de Stocks*. Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2012.
- [10] B. M. Babu and P. S. Aithal, “Critical analysis of container accidents in international logistics,” *International Journal of Case Studies in Business, IT, and Education*, vol. 7, 2023.
- [11] H. Qin, D. Simchi-Levi, R. Ferer, J. Mays, K. Merriam, M. Forrester, and A. Hamrick, “Trading safety stock for service response time in inventory positioning,” *Production and Operations Management*, vol. 31, pp. 4462 – 4474, 2022.
- [12] J. Gradek, “Voici pourquoi c’est le chaos dans les aéroports,” *L’actualité*, 2022. <https://lactualite.com/societe/voici-pourquoi-cest-le-chaos-dans-les-aeroports/> consulté le : 29/12/2023.
- [13] C. Levieil, “Centre de distribution : tout ce qu’il faut savoir,” 2023. <https://www.dashdoc.com/fr/blog/centre-de-distribution>.
- [14] K. Chebli, “Optimisation des mouvements des conteneurs dans un terminal maritime,” Master’s thesis, École Polytechnique de Montréal, December 2011.
- [15] “Optimisation des coûts : méthodes de réduction des dépenses opérationnelles inutiles de l’entreprise.” <https://copymate.app/fr/blog/multi/optimisation-des-couts-methodes-de-reduction-des-depenses-operationnelles-inutiles-de-lentreprise/> Consulté le : 27/03/2024.
- [16] A. Bouguen and J. Seban, “L’assignation aléatoire comme méthode d’évaluation des politiques publiques,” *Économie & prévision*, vol. 204-205, pp. 119–143, 2014.

- 
- [17] “Gestion de stock : Ce qu’il faut savoir.” <https://waresito.com/fr/blog/la-gestion-de-stock-ce-quil-faut-savoir/> Consulté le : 26/03/2024.
- [18] “Analyse abc prioriser la gestion des stocks avec des informations de chiffre d affaires.” <https://fastercapital.com/fr/contenu/Analyse-ABC-prioriser-la-gestion-des-stocks-avec-des-informations-de-chiffre-d-affaires.html> Consulté le : 30/03/2024.
- [19] C. Chu, “CHAPTER 11 - placement,” in *Electronic Design Automation* (L.-T. Wang, Y.-W. Chang, and K.-T. T. Cheng, eds.), pp. 635–685, Morgan Kaufmann, 2009.
- [20] *Fiche explicative de la leçon : Programmation linéaire.* <https://www.nagwa.com/fr/explainers/8141806563> consultée le : 12/01/2024.
- [21] M. Niu, B. Cheng, and J.-L. Chen, “GPSO : A graph-based heuristic algorithm for service function chain placement in data center networks,” 2020.
- [22] D. C. Porumbel, *Algorithmes Heuristiques et Techniques d’Apprentissage - Applications au Probleme de Coloration de Graphe.* Thèse de doctorat, Université d’Angers, 2009.
- [23] *Optimisation des processus d’entreprise à l’aide de la science de données et de la modélisation de simulation.* <https://www.anylogic.fr/resources/case-studies/business-processes-optimization-using-data-science-and-simulation-modeling/> consulté le : 17/01/2024.
- [24] J. Delua, “Supervised versus unsupervised learning : What’s the difference?,” *IBM*, 2021. <https://www.ibm.com/think/topics/supervised-vs-unsupervised-learning> Consulté le : 02/04/2024.
- [25] H.-P. Hsu and C.-N. Wang, “Resources planning for container terminal in a maritime supply chain using multiple particle swarms optimization (MPSO),” *Mathematics*, vol. 8, 2020.
- [26] R. Guerra-Olivares, N. R. Smith, R. G. González-Ramírez, E. García-Mendoza, and L. E. Cárdenas-Barrón, “A heuristic procedure for the outbound container space assignment problem for small and midsize maritime terminals,” *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, vol. 9, 2018.
- [27] X. Hu, C. Liang, D. Chang, and Y. Zhang, “Container storage space assignment problem in two terminals with the consideration of yard sharing,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 47, 2021.
- [28] M. Yu, X. Tan, and J. Chen, “Pricing competition in maritime transportation with blockchain technology and empty container repositioning,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 59, 2024.
- [29] J. He, C. Tan, W. Yan, W. Huang, M. Liu, and H. Yu, “Two-stage stochastic programming model for generating container yard template under uncertainty and traffic congestion,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 43, 2020.
- [30] S. Basu, “A cursory look at parallel architectures and biologically inspired computing,” in *Soft Computing and Intelligent Systems* (N. K. SINHA and M. M. GUPTA, eds.), Elsevier, 2000.

## Liste des tableaux

## Résumé

Ce travail s'intéresse au problème du placement dans le cadre de la gestion des stocks, en mettant l'accent sur les difficultés associées à la gestion des ports maritimes. La première partie établit les bases théoriques en définissant les notions de stock et de gestion des stocks, puis en abordant les spécificités de la gestion portuaire, le problème de placement étant posé comme une problématique centrale d'optimisation de l'utilisation de l'espace de stockage. La deuxième partie présente un état de l'art des approches proposées et leurs limites. Tandis que la troisième partie présente la proposition et ses résultats en termes d'utilisation de l'espace, de réduction des coûts et de sécurité/conformité. En conclusion, ce travail apporte une contribution significative à la résolution du problème de placement dans la gestion des stocks portuaires, en développant une approche originale et en démontrant son efficacité sur le plan pratique.

Mots clés : Stock, Gestion de stock, Gestion des ports à conteneurs, Algorithmes génétiques, Problème de placement

## Abstract

This work addresses the placement problem in the context of inventory management, with an emphasis on the difficulties associated with the management of seaports. The first part establishes the theoretical foundations by defining the concepts of inventory and inventory management, then by addressing the specificities of port management, the placement problem being posed as a central issue for optimizing the use of storage space. The second part presents a state of the art of the proposed approaches and their limitations. While the third part presents the proposal and its results in terms of space utilization, cost reduction and safety/compliance. In conclusion, this work makes a significant contribution to solving the placement problem in port inventory management, by developing an original approach and demonstrating its effectiveness in practice.

Keywords : Inventory, Inventory management, Container port management, Genetic algorithms, Placement problem