

UNIVERSITÉ D'ORAN<sup>1</sup>, AHMED BENBELLA  
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE D'ORAN(LIO)

# THÈSE

présentée en première version en vue d'obtenir le grade de Docteur,  
spécialité « Informatique »

par

Yachba Khadidja

## VERS UNE CONTRIBUTION DANS LE TRANSPORT MARITIME DE MARCHANDISES : OPTIMISATION DE PLACEMENT DES CONTENEURS DANS UN PORT MARITIME

Thèse soutenue le 12/12/2016 devant le jury composé de :

Pr BOUAMRANE KARIM Université d'Oran<sup>1</sup> (Directeur)  
Dr. SHAHIN GELAREH Université d'Artois Béthune (Co Encadreur)  
etc.







# REMERCIEMENTS

J'aimerais profiter de ces quelques lignes pour remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette thèse.

Je souhaite tout d'abord remercier plus particulièrement mon encadreur « Pr Karim Bouamrane » pour le temps et l'énergie qu'il m'a consacrée. Je lui suis reconnaissante de m'avoir donnée la chance de faire partie de son équipe de recherche.

Je remercie ainsi chaleureusement Docteur « Shahin Gelareh » pour ses commentaires et les échanges fructueux tout au long de cette thèse et en particulier pendant la phase de développement du logiciel. Ses connaissances et son expérience ont été très appréciées.

Je remercie le président du jury « » pour nous avoir honoré par sa présidence de notre jury, je remercie, également, les membres du jury : « » et « » pour nous avoir fait le plaisir d'accepter d'être les examinateurs de notre travail.

Je ne peux passer sous silence l'apport de toutes les personnes qui ont accepté de m'accorder des entrevues et de participer au processus de validation de ce travail.

Pour finir, je tenais à remercier tout spécialement ma mère et toute la famille pour son soutien, sa patience ainsi que ses encouragements dans les moments plus difficiles.



# DÉDICACES

**A** la mémoire de mon père, à ma mère...





# RÉSUMÉ

**L**E transport maritime est l'opération de déplacement des marchandises d'un endroit à un autre par voie maritime, ce mode de transport peut prendre en considération le chargement et le déchargement des conteneurs au niveau des ports.

Par-rapport à d'autres modes de transport (routier, fluvial), le transport maritime reste un moyen de transport très important.

Lors de leur arrivée dans un port maritime, les navires restent inactifs à quai pendant toute la durée des opérations de chargement et déchargement.

Les opérateurs de manutention du terminal portuaire reçoivent un planning indiquant les dates de chargement et de déchargement des conteneurs, ainsi que leurs emplacements dans les zones de stockage.

Une fois accueillis à quai les navires sont déchargés au moyen des portiques vers la zone de manutention où les conteneurs sont ensuite récupérés pour être transférés vers les zones de stockage ou d'échanges.

Les terminaux à conteneurs constituent des interfaces inter modales essentielles pour le réseau de transport mondial .

Un emplacement optimal pour un conteneur dans les terminaux est très important pour les entreprises car cette opération permet de réduire les coûts de transport.

Dans notre travail, nous proposons principalement une approche de résolution de problème de placement de conteneurs dangereux à travers la description d'un modèle qui permet de résoudre et optimiser l'espace de stockage disponible pour gérer les départs et les arrivées des conteneurs pleins dans un port maritime.

Autrement dit, un modèle qui permet de minimiser le nombre total de mouvements (déplacements) inutiles tout en respectant des contraintes dynamiques d'espace et de temps.

**M**OT CLÉS :Transport maritime, Conteneur, Zone de Stockage, Navire, Baie,Pile, Méthodes d'optimisation,Matières Dangereuses, Emplacement Optimal.

Lieu, le 16 octobre 2016.



# ABSTRACT

**M**A ritime transport is the merchandise moving operation from one place to another by sea, this mode of transport may consider loading and unloading of containers at ports.

By-compared to other modes of transport (road, river), maritime transport remains a very important means of transport.

Upon arrival at a port, the ships docked remain inactive for the duration of loading and unloading.

Handling port terminal operators receive a schedule indicating the dates of loading and unloading of containers and their locations in the storage areas.

Once welcomed to dock ships are unloaded by gantry to the handling area where the containers are then recovered for transfer to storage areas or exchanges.

Container terminals are inter modal interfaces essential to the global transportation network. An optimal location for a container terminal is very important for companies because doing so reduces transportation costs.

In our work, we offer mainly a dangerous container placement problem-solving approach through the description of a model to solve and optimize available storage space to handle departures and arrivals of full containers in port maritime.

In other words, a model that minimizes the total number of movements (movements) unnecessary while respecting dynamic constraints of space and time.

**K**EY WORD : Shipping, Container Storage Area, Ship, Bay, Stack, Optimization Methods, Dangerous Goods, Optimal location.

Lieu, le 16 octobre 2016.

# TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	xii
LISTE DES FIGURES	xiv
LISTE DES TABLEAUX	xv
NOTATIONS	xvii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 LE TRANSPORT MARITIME ET LA CONTENEURISATION	7
1.1 INTRODUCTION	9
1.2 LE TRANSPORT	9
1.3 LES MODES DE TRANSPORT	10
1.3.1 Le transport routier	10
1.3.2 Le transport aérien	11
1.3.3 Le transport ferroviaire	11
1.3.4 Le transport maritime	12
1.3.5 Le choix du mode de transport	12
1.4 LE TRANSPORT DE MATIÈRES DANGEREUSES	13
1.4.1 Que ce que c'est le transport maritime de matières dangereuses?	13
1.4.2 Que ce que c'est la marchandise dangereuse?	13
1.4.3 Quels sont les principaux risques liés aux marchandises dangereuses?	13
1.4.4 Le risque de transport de matières dangereuses	14
1.4.5 Réglementation	15
1.4.6 Prévention des risques liés au transport maritime de matières dangereuses	15
1.5 CONTENEUR : HISTORIQUE ET PRÉSENTATION	16
1.5.1 Caractéristiques de conteneur	17
1.5.2 Effets de la conteneurisation sur les ports maritimes	18
1.5.3 Les opérations dans un terminal à conteneurs	18
1.5.4 Processus de chargement et de déchargement d'un conteneur dans un terminal maritime	19
1.5.5 Avantages et inconvénients de l'utilisation des conteneurs	21
1.6 CONCLUSION	23
CONCLUSION	23
2 LE PROBLÈME DE STOCKAGE DE CONTENEURS (PSC) ET MÉTHODES DE RÉOLUTION	25

2.1	INTRODUCTION . . . . .	27
2.2	ARRIMAGE DE CONTENEURS . . . . .	27
2.3	PROBLÈME DE STOCKAGE DES CONTENEURS (PSC) . . . . .	28
2.3.1	Définition du PSC . . . . .	30
2.4	LES MÉTHODES DE RÉOLUTION DE PSC . . . . .	30
2.4.1	Positionnement de notre contribution . . . . .	31
2.5	CONCLUSION DU CHAPITRE . . . . .	34
	CONCLUSION . . . . .	34
3	CONCEPTION ET MODÉLISATION D'UN SYSTÈME DE STOCKAGE DE CONTENEURS DANGEREUX. . . . .	37
3.1	INTRODUCTION . . . . .	39
3.1.1	Objectifs visés . . . . .	40
3.2	MODÈLE PROPOSÉ . . . . .	41
3.3	ARCHITECTURE FONCTIONNELLE . . . . .	41
3.4	MODÉLISATION UML . . . . .	41
3.4.1	Le diagramme de classe . . . . .	41
3.4.2	Le diagramme de séquence . . . . .	44
3.5	LES DIFFÉRENTES STRATÉGIES DE STOCKAGE . . . . .	44
3.5.1	Ségrégation et non ségrégation . . . . .	46
3.5.2	Groupage et dispersion . . . . .	47
3.5.3	Stockage direct et stockage indirect . . . . .	47
3.5.4	Priorité aux déchargement et priorité aux déchargement . . . . .	48
3.6	APPROCHE PROPOSÉE . . . . .	49
3.6.1	Présentation de l'algorithme génétique . . . . .	49
3.6.2	Le fonctionnement de l'algorithme génétique . . . . .	50
3.6.3	Description de l'algorithme génétique . . . . .	51
3.6.4	Critère de convergence . . . . .	54
3.6.5	Les avantages de l'algorithme génétique dans le cadre de notre problématique . . . . .	54
3.6.6	Les inconvénients de l'algorithme génétique dans le cadre de notre problématique . . . . .	55
3.7	CONCLUSION . . . . .	55
	CONCLUSION . . . . .	55
4	L'IMPLEMENTATION DE L'APPROCHE . . . . .	57
4.1	INTRODUCTION . . . . .	59
4.2	OUTILS DE DÉVELOPPEMENT . . . . .	59
4.2.1	L'environnement de travail . . . . .	59
4.2.2	Le langage de programmation . . . . .	60
4.3	DESCRIPTION DE LOGICIEL . . . . .	60
4.3.1	Lancement de l'application . . . . .	60
4.3.2	Présentation de l'interface principale de l'application . . . . .	60
4.3.3	Lancement de la simulation . . . . .	69
4.4	CONCLUSION . . . . .	70
	CONCLUSION . . . . .	70
	CONCLUSION GÉNÉRALE . . . . .	71
	BIBLIOGRAPHIE . . . . .	73

# LISTE DES FIGURES

1.1	Le processus de chargement/déchargement des conteneurs	19
1.2	Le diagramme des arrivés des navires . . . . .	20
1.3	Le diagramme de déchargement des navires . . . . .	21
1.4	Le diagramme de chargement des navires . . . . .	22
3.1	Le modèle proposé . . . . .	42
3.2	Architecture fonctionnelle du système . . . . .	43
3.3	Le diagramme de classe de notre système . . . . .	45
3.4	Le diagramme de Séquence de notre système . . . . .	46
3.5	Les étapes de l’algorithme génétique . . . . .	50
3.6	Algorithme génétique Ivan (2000) . . . . .	51
3.7	Croisement avec un point de crossover Neto3 . . . . .	53
3.8	Étape de mutation Neto3 . . . . .	53
4.1	Netbeans . . . . .	59
4.2	Comparaison entre le fonctionnement d’un programme Java et un programme écrit en c++ Net15 . . . . .	60
4.3	La page d’accueil . . . . .	61
4.4	Interface principale . . . . .	61
4.5	Les paramètres d’entrée . . . . .	62
4.6	Détail des conteneurs . . . . .	62
4.7	Détail des navires . . . . .	63
4.8	Détail des piles . . . . .	63
4.9	Lancement de l’algorithme génétique . . . . .	63
4.10	Lancement de la simulation . . . . .	64
4.11	Bouton « Générer population initiale » . . . . .	65
4.12	Génération de la population initiale . . . . .	65
4.13	La fonction qui calcule la probabilité . . . . .	66
4.14	La fonction qui calcule la fitness . . . . .	66
4.15	Bouton « Lancer déchargement » . . . . .	66
4.16	Affichage de temps d’exécution . . . . .	67
4.17	Génération de la population sélectionnée . . . . .	67
4.18	Génération de la population croisée . . . . .	68
4.19	Génération de la population mutée . . . . .	68
4.20	Meilleurs individus . . . . .	68
4.21	La solution optimale . . . . .	68
4.22	Bouton « Fermer » . . . . .	69
4.23	Détails piles dans la zone de simulation . . . . .	69
4.24	Les paramètres de la simulation . . . . .	69
4.25	Affichage de la solution optimale dans la zone de simulation	69
4.26	La simulation . . . . .	70

4.27 Journal d'événement de la simulation . . . . .	70
---	----

## Liste des tableaux

1.1 <Liste des enjeux humains, environnementaux, économiques et patrimoniaux> . . . . .	15
1.2 <Les textes applicables correspondants aux modes de transport> . . . . .	16
1.3 <Principales caractéristiques des conteneurs> . . . . .	18
2.1 <Un tableau comparatif des travaux connexes> . . . . .	32
2.2 <Un tableau comparatif des travaux connexes> . . . . .	33
2.3 <Un tableau comparatif des travaux connexes qui utilise le même algorithme (AG)> . . . . .	35
4.1 <Paramétrés d'algorithme génétique> . . . . .	64





# NOTATIONS

ADN	Acide Désoxyribo Nucléique
AGs	Algorithmes Génétiques
ALNS	Adaptive Large Neighborhood Search
CNUCED	Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement
EDI	Environnement de Développement Intégré
EVP	Equivalent Vingt Pieds
HTML	HyperText Markup Language
IDE	Integrated Development Environment
IMDGC	International Maritime Dangerous Goods Code
ISO	International Standards Organization
OMC	Organisation Mondiale du Commerce
OMI	Organisation Maritime International
PHP	Hypertext Preprocessor
PSC	Problème de Stockage de Conteneurs
STI	Système de Transport Intelligent
TMD	Le transport de matières dangereuses
ULD	Unit Load Devices
UML	Unified Modeling Language
UTI	Unités de Transport Intermodal
XML	Extensible Markup Language



# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Contexte et Problématique

**A**ujourd'hui, le commerce évolue de plus en plus au niveau international et les entreprises de production développent des marchés sur plusieurs pays.

Cette évolution massive nécessite un suivi pour pouvoir produire des biens et des services pour satisfaire les besoins des consommateurs. Ainsi, le transport maritime a pour objectif de transporter des personnes et des marchandises. Ce mode de transport est le mode de transport le plus utilisé pour le commerce international.

Selon la Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED), soixante-quinze (75 pour cent) du commerce mondial en volume transite par voie maritime. C'est le seul mode de transport capable d'assurer à un coût attractif les échanges liés au commerce intercontinental. Son expansion est très marquée, grâce à la flexibilité du transport conteneurisé, aux capacités de massification, et au processus de libéralisation intégrale des échanges lancé par l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC).

La plupart des grandes puissances économiques mondiales possèdent d'importantes façades maritimes. Elles constituent le moteur de leur expansion. L'économie mondiale est devenue dépendante du transport maritime.

Le transport maritime joue un rôle très important au développement de l'économie, il consiste à acheminer des marchandises d'un point à un autre.

Le transport maritime devient, de nos jours, de plus en plus important et représente une alternative crédible et intéressante au transport terrestre et aérien.

L'interdépendance entre commerce et flux de biens et de services, en voie d'évolution continue, fait que ce système de transport représente une préoccupation d'une importance cruciale.

En effet, avec la mondialisation, les besoins d'importation et d'exportation de conteneurs ne cessent de croître. Cela a conduit à la création de très grands navires qui peuvent transporter des nombres très élevés de conteneurs. Ainsi, le nombre de conteneurs qui doivent être traités par unité de temps dans un port augmente aussi.

Pour faire face à ce phénomène, deux possibilités de résolution existent :

- La première consiste à effectuer des travaux d'agrandissement du port, notamment de la zone de stockage. Les conséquences directes de cette option sont les perturbations de fonctionnement durant les périodes de travaux. En plus de cela, elle nécessite l'investissement

d'une quantité d'argent non négligeable dont la rentabilité n'est pas garantie à cause des concurrences qui existent entre ports,

- La deuxième option consiste à trouver des moyens de gestion qui augmentent la productivité du port. Cette solution semble moins risquée que la précédente, mais elle nécessite des efforts intellectuels permanents.

Aujourd'hui, les navires de conteneurs sont déchargés et chargés dans de larges terminaux à conteneurs, les opérations des terminaux de conteneurs peuvent être divisées en trois grandes catégories :

- La première catégorie regroupe les opérations réalisées dans la zone d'opérations portuaires et liées au chargement et au déchargement des navires.
- la seconde catégorie d'opérations concerne le transfert des conteneurs vers les modes de transport terrestre qui s'effectue dans la zone d'opérations terrestre.
- La dernière catégorie des opérations et celle qui nous intéresse dans notre travail s'effectue dans la zone de stockage. elle contient l'ensemble des opérations comme le stockage et la manutention des conteneurs dans la cour.

L'enjeu pour les autorités portuaires est alors de déterminer le plan de stockage des conteneurs de sorte à minimiser le temps total de traitement (chargement ou déchargement) de ces derniers.

Le temps de traitement dépend de divers paramètres tels que l'ordre dans lequel les conteneurs sont traités, le type de chaque conteneur, et le temps nécessaire pour effectuer des déplacements dans la zone de stockage.

La manutention des conteneurs en import ou en export conduit à de nombreux déplacements ou remaniements inutiles, consistant à dépiler un nombre de conteneurs pour atteindre un conteneur bien déterminé placé en dessous de la pile.

Avec l'évolution du phénomène de conteneurisation, les ports maritimes ont connu de grands développements dans les techniques de manutention.

En fait, la conteneurisation est un élément indispensable dans le transport maritime car elle facilite le transport de marchandises et en même temps assure leur sécurité. Elle fait partie des inventions qui ont révolutionné le transport de marchandises.

Un terminal maritime à conteneurs se décompose en deux grandes zones, chacune étant caractérisée par ses propres opérations de manutention et ses équipements.

En effet, dans la partie quai, les bateaux sont chargés/déchargés par des portiques de quai. Tandis que dans la partie terrestre, appelée encore la cour, cette zone possède comme équipements les portiques de cour. Un autre équipement, qui est le véhicule de transport, assure la liaison entre ces deux zones.

Le conteneur est un moyen inter modal. Il permet d'acheminer de la marchandise dans un même contenant par au moins deux modes de transport successifs.

Grâce à la standardisation des boîtes et à la simplicité de manipulation, le conteneur peut utiliser successivement et d'une façon combinée les dif-

férents modes de transport sans qu'il y ait manutention des marchandises elles-mêmes lors du changement du mode.

Le transport maritime devient, de nos jours, de plus en plus important et représente un véritable choix, si on le compare au transport terrestre et aérien.

L'interdépendance entre commerce et flux de biens et de services, en voie d'évolution continue, fait que ce mode de transport représente une préoccupation d'une importance cruciale. En effet, les différentes compagnies et entreprises fournissent de grands efforts dans le but de détecter des possibilités de réduction des coûts associés à ce transport.

Comme toute activité de transport, le trafic de matières dangereuses constitue à une activité économique à part entière, répondant aux besoins des entreprises et des particuliers.

Le transport de matières dangereuses (TMD) ne concerne pas que les produits hautement toxiques, explosifs ou polluants. Il concerne également tous les produits dont nous avons régulièrement besoin comme les carburants, le gaz, les engrais (solides ou liquides), et qui, en cas d'événement, peuvent présenter des risques pour les populations ou l'environnemental.

Une marchandise dangereuse est une matière ou un objet qui, par ses caractéristiques physicochimiques (toxicité, réactivité ...) peut présenter des risques pour l'homme, les biens et/ou l'environnement.

Tous les jours, une grande variété de marchandises dangereuses est transportée dans le monde, dont la majeure partie (80 pour cent) est destinée à des usages industriels. Ces marchandises peuvent être transportées sous forme liquide (ex : chlore, propane, soude...) ou solide (ex : explosifs, nitrate d'ammonium...). Ces substances ont souvent une concentration et une agressivité supérieures à celles des usages domestiques

### **Contribution**

La conteneurisation peut causer des coûts importants liés aux financements en espace de stockage, à l'approvisionnement et à la maintenance des équipements, aux temps d'attente inutile ou mouvements inutiles durant l'opération déchargement stockage- chargement des conteneurs et au déséquilibre du flux de marchandises imposant des transports de conteneurs vides.

Les remaniements prennent une place importante dans les opérations puisqu'ils entraînent des mouvements inutiles de conteneurs.

Dans la pratique, une des stratégies couramment utilisées est de déterminer le stockage optimal des conteneurs permettant de minimiser le temps requis pour effectuer les remaniements lors du traitement.

Dans cette thèse, nous nous intéressons au problème de stockage de conteneurs dangereux.

De ce fait, plusieurs interrogations s'imposent :

- Comment peut-on assurer un meilleur cheminement des conteneurs dangereux ?
- Comment bien déterminer l'emplacement adéquat pour le conteneur dangereux dans la zone de stockage qui arrive dans un terminal ? Et qui séjourne temporairement ?

- Comment minimiser le temps de latence ?
- Comment doit-on procéder pour réduire les coûts de stockage ?
- Comment doit-on procéder afin d'augmenter les capacités de stockage ?

Toutes ces questions se posent au niveau des différentes activités s'exerçant dans un port à conteneurs, et constituent des objectifs soucis des théoriciens et praticiens.

Afin de pouvoir gérer efficacement cette zone, il est nécessaire de connaître l'emplacement optimal de chaque conteneur.

Pour répondre à ces besoins, nous proposons dans cette thèse, une contribution de placement des conteneurs basée sur des méthodes d'optimisation qui est les algorithmes génétiques.

Les paramètres pouvant catégoriser les conteneurs et définir une certaine priorité entre eux sont : la destination, la taille, la date de départ, l'horizon des arrivées des barges ou navires associés.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'élaboration d'un modèle pour l'identification d'un emplacement optimal de conteneur dangereux dans un port maritime.

Ainsi décrit et par analogie aux problèmes classiques de planification, le problème de stockage de conteneurs(PSC) est un problème de satisfaction des contraintes . Il est considéré comme NP-difficile et NP-complet.

Une solution optimale de ce problème est un plan d'actions de dépilement/empilement de conteneurs de longueur minimale, c'est-à-dire constitué d'un nombre de mouvements de déplacements minimal, tenant compte des contraintes dynamiques que ce soit en termes d'espace ou de temps.

Les interactions, les collaborations et les dynamiques qui en découlent font que le PSC est modélisé par un système complexe d'une part, c'est à dire constitué de nombreux composants en interaction dynamique entre eux et avec le monde extérieur ; et d'autre part ouvert, c'est à dire capable de maintenir ses fonctions malgré les arrivées et départs de ses composants.

Malgré les inconvénients du transport des matières dangereuses la nécessité du transport lui-même est incontournable, l'important est d'en maîtriser le risque, et par conséquent de trouver les bonnes solutions pour acheminer les conteneurs dangereux.

Le transport maritime de matières dangereuses est régi par une réglementation internationale IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code) qui est édité par l'OMI (Organisation maritime internationale), Composé de 7 parties, ce code aborde notamment la classification des marchandises dangereuses, la réglementation sur le transport de ces marchandises, les emballages, l'étiquetage, ainsi que les règlements dans les ports maritimes et portuaires locaux.

L'objectif de notre travail est de trouver le meilleur emplacement pour les conteneurs dangereux dans les piles dédiées à cela. Et cela en se basant sur les algorithmes génétiques qui présentent un fort potentiel d'applications pratiques. D'ailleurs, ils sont de plus en plus utilisés et ce, dans de multiples domaines. Il faut dire qu'ils fournissent d'excellentes performances à de faibles coûts. En effet, les algorithmes génétiques permettent d'explorer des domaines possédant de très nombreuses solutions.

Notre contribution s'insère dans le cadre des travaux de recherche menés dans le domaine d'aide à la décision multicritère, de simulation et d'optimisation.

Nous nous intéressons au problème lié au placement de conteneurs pleins dans la zone de stockage, où nous proposons un modèle qui modélise l'opération d'affectation des conteneurs dangereux dans un port maritime.

Le modèle nous permet de faire des analyses du système de transport maritime et nous aide par la suite à établir des prévisions sur la gestion de stockage de conteneurs dans un port maritime.

L'intérêt de ce travail est le développement d'un outil informatique permettant une identification du meilleur emplacement d'un conteneur dangereux en prenant en considération plusieurs paramètres tel que la date de départ d'un conteneur, le type de chaque conteneur, l'ordre d'arrivée des conteneurs... etc.

Le modèle proposé dans cette thèse représente notre contribution qui traite un type particulier de conteneurs : le stockage des conteneurs dangereux dans la zone de stockage en utilisant la méthode d'algorithme génétique tout en respectant les contraintes de type et de distance.

Le langage utilisé pour l'implémentation de cette méthode c'est le langage Java.

L'intérêt de notre contribution réside dans le traitement d'un type particulier de conteneurs (conteneur dangereux) tout en gardant le paramètre type (catégorie) et distance entre les conteneurs vue la particularité de conteneur traité.

### **Organisation de la thèse**

Notre Thèse est organisée comme suit :

Le *premier chapitre* expose les concepts liés au transport maritime de marchandises et la conteneurisation ainsi que le transport maritime conteneurisé des matières dangereuses et les différentes terminologies et concepts intrinsèques.

Le *deuxième chapitre* présente le problème de stockage de conteneurs (PSC) et les méthodes de résolution de ce problème tout en positionnant notre contribution dans ce domaine.

Le *troisième chapitre* expose la partie conception et modélisation de notre approche afin de résoudre le problème de stockage des conteneurs dangereux.

Le *quatrième chapitre* présente le détail de l'implémentation de l'approche proposée tout en détaillons un scénario d'exécution.

### **Communications Internationales, Séminaires**

Cette thèse a fait l'objet de divers travaux écrits :

- «Problem Management's investment in shipping containers of goods using a multi-criteria method», The 2nd International Conference On Distributed Systems and Decision ICDS'D 4 Dec.07-08, 2014 Oran (Algeria).

- « Gestion du Problème de placement de Conteneurs dans le transport maritime de marchandises en utilisant une méthode multicritère », séminaire à l'Université d'Artois Béthune, Laboratoire LGI2A, le 07/11/2014.
- « Containers storage optimization in a container terminal Using a multimethod multi-level approach », In the International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE45), CIE45 Proceedings, 28-30 October 2015, Metz / France, ISSN 2164-8689.

### **Publications**

« Storage Management of Hazardous Containers Using the Genetic Algorithm », International Journal Of Transport and Telecommunication, Vol 17, Novembre 2016..... ..



# LE TRANSPORT MARITIME ET LA CONTENEURISATION



## SOMMAIRE

3.1	INTRODUCTION . . . . .	39
3.1.1	Objectifs visés . . . . .	40
3.2	MODÈLE PROPOSÉ . . . . .	41
3.3	ARCHITECTURE FONCTIONNELLE . . . . .	41
3.4	MODÉLISATION UML . . . . .	41
3.4.1	Le diagramme de classe . . . . .	41
3.4.2	Le diagramme de séquence . . . . .	44
3.5	LES DIFFÉRENTES STRATÉGIES DE STOCKAGE . . . . .	44
3.5.1	Ségrégation et non ségrégation . . . . .	46
3.5.2	Groupage et dispersion . . . . .	47
3.5.3	Stockage direct et stockage indirect . . . . .	47
3.5.4	Priorité aux déchargement et priorité aux déchargement . . . . .	48
3.6	APPROCHE PROPOSÉE . . . . .	49
3.6.1	Présentation de l'algorithme génétique . . . . .	49
3.6.2	Le fonctionnement de l'algorithme génétique . . . . .	50
3.6.3	Description de l'algorithme génétique . . . . .	51
3.6.4	Critère de convergence . . . . .	54
3.6.5	Les avantages de l'algorithme génétique dans le cadre de notre problématique . . . . .	54
3.6.6	Les inconvénients de l'algorithme génétique dans le cadre de notre problématique . . . . .	55
3.7	CONCLUSION . . . . .	55
	CONCLUSION . . . . .	55

**D**ANS ce chapitre, nous présentons les différents contextes sur le transport, les modes de transport, le transport maritime, le transport de matières dangereuses et la conteneurisation. . . .



## 1.1 INTRODUCTION

Le transport est le déplacement de personnes ou de biens d'un endroit à un autre.

Les transports modernes constituent un système. Chaque sous-système (selon le mode de transport) est constitué d'une infrastructure (linéaire pour les transports terrestres et ponctuelle pour les transports maritimes et aériens), de véhicules (individuels ou regroupés en rames) ou de flux continus (pour les transports par conduites : gazoducs, oléoducs) et de techniques d'exploitation particulières.

De nos jours, le transport de personnes (voyageurs) et le transport de marchandises (fret), plus ou moins confondus jusqu'à une époque récente, constituent deux systèmes de plus en plus indépendants, même s'ils utilisent parfois les mêmes infrastructures et plus rarement les mêmes véhicules.

L'ensemble des opérations de transport de fret, ainsi que tous les services impliqués dans la réception, la livraison et la manutention des biens pour que ceux-ci soient livrés au moment voulu chez le destinataire constitue la logistique kefi (2008).

## 1.2 LE TRANSPORT

Le transport est un élément de stratégie qui intervient dans la quasi-totalité des transactions commerciales. Le transport de marchandises exerce une influence diffuse sur la détermination de la stratégie de développement du commerce extérieur, en outre le transport international de marchandises est constitué d'un système logistique composée de plusieurs maillons et faisant intervenir divers intervenants qui mettent en ?uvre d'énormes moyens et qui répondent à de nombreuses règles et contraintes Cours16 (2016) .

La chaîne logistique regroupe les opérations suivantes :

- L'unitisation des expéditions (constitutions des unités de charges),
- L'emballage et le marquage des colis,
- La documentation (préparation des documents qui accompagnent les expéditions),
- L'entreposage,
- La manutention,
- Le transport ,
- L'assurance,
- Le dédouanement,
- Les opérations de paiements.

Ces opérations doivent permettre la gestion des flux physiques de marchandises et les flux d'informations (de plus en plus informatisés) tout au long de la chaîne logistique (de bout à bout) c'est-à-dire depuis les vendeurs expéditeurs (exportateurs) jusqu'aux acheteurs receveurs de la marchandise (importateurs).

Le choix en matière de transport de marchandises a une grande importance sur le plan des coûts, des délais de livraison et au niveau de la qualité du service rendu (sûreté et sécurité des expéditions, respect des délais, image de marque de l'entreprise ?) Pour réaliser un transport de bout

en bout dans les meilleures conditions possibles de sécurité de rentabilité et d'efficacité :

- Il faut tout d'abord opérer un choix initial en matière de transport. Ce choix va dépendre de plusieurs données : la nature des marchandises et les caractéristiques de l'envoi ; les options concernant les délais, les fréquences et les prix de déplacement ; les types de services et la nature de transport,
- Il convient ensuite de maîtriser les différents flux d'informations et les déplacements des marchandises jusqu'à leur destination finale,
- Il est nécessaire après analyse détaillée des principales solutions possibles de veiller à la cohérence des options choisies avec les objectifs définis et qui consiste à réaliser le transport au moindre coût, obtenir des délais de livraison compatibles avec les caractéristiques des marchandises et avec la demande du client, et à assurer la sécurité des transport.

Les décisions à prendre dans ce domaine ne doivent pas être isolées en plus il faut concilier entre les contraintes commerciales, les contraintes technique et les contraintes administratives.

### 1.3 LES MODES DE TRANSPORT

Un mode de transport est, dans un sens plus général, un accessoire utilisé par un être humain afin de se déplacer du point A au point B Benmaghnia (2016). Pour posséder le statut de moyen de transport, celui-ci doit être accessible au public et posséder une instance de brevet approuvée.

Il existe différents modes de transport, tel que la voiture, la motocyclette et le vélo, qui sont des moyens de transports individuels. Il y a également les modes de transport en commun, tels que l'autocar, le métro, le train, le taxi, le monorail... et bien d'autres.

Finalement, compte tenu de leur coût et du statut spécial pour lequel on les utilise, il y a également le bateau et l'avion, qui sont en général des moyens de transport de masse utilisés pour le déplacement sur de longues distances Benmaghnia (2016).

Le transport peut être effectué par un ou plusieurs modes Cours16 (2016) :

- Transport ferroviaire (par train),
- Transport routier (par camion),
- Transport maritime (par bateau),
- Transport aérien (par avion).

#### 1.3.1 Le transport routier

Le transport routier est le plus fréquemment utilisé lorsqu'il s'agit d'effectuer des opérations sur le territoire national, et plus largement dans un cadre qui s'étend aux pays frontaliers.

Dans d'autres cas, des opérations sont effectuées dans des pays plus éloignés et ce dans le cadre d'autorisations et d'accords bilatéraux Ezzahraoui (2013).

### **Avantages et inconvénients de transport routier**

Le transport routier présente comme principaux avantages un coût relativement réduit et un service dit porte à porte, c'est à dire sans rupture de charge.

Il offre la possibilité de combiner ce transport avec le train : on parle alors de ferroutageEzzahraoui (2013).

Il existe d'autres avantages de transport routier tel que :

- La rapidité,
- La possibilité de rejoindre des localités éloignées,
- La possibilité de groupage.

Ce mode de transport présente aussi des inconvénients :

- La restriction de poids et de dimensions,
- Les coûts excessifs pour les longues distances.

### **1.3.2 Le transport aérien**

Il est celui qui a connu une croissance significative ces dernières années. En effet, la croissance des échanges internationaux et les impératifs qui en découlent, notamment en matière de délais, ont contribué à son essor, le transport aérien permet de desservir beaucoup de destinations à travers le monde.

Il est approprié pour les transports nécessitant des délais rapides tout en assurant une sécurité maximale pour la marchandise.

L'utilisation massive des ULD (Unit LoadDevices) pour les opérations de chargement et déchargement facilitent la manipulation de la marchandise : ce sont en général des palettes et des conteneursEzzahraoui (2013).

### **Avantages et inconvénients de transport aérien**

Les avantages de ce mode de transport sont :

- Rejoindre des clients éloignés de façon sûre et rapide,
- Exportation de denrées périssables,
- Groupage possible en passant par des transitaires internationaux,
- Délais de livraison courts.

Ces inconvénients Sont :

- Coût élevé,
- Frais de collecte et de livraison non-compris.

### **1.3.3 Le transport ferroviaire**

Permet l'expédition de marchandises par le biais de wagons, avec tous les avantages que cela induit : des quantités importantes, un réseau ferré qui ne subit pas les mêmes aléas que les autres modes (liés aux risques météo notamment), des délais qui peuvent être réduits, ainsi que la possibilité d'effectuer des livraisons sur de longues distances.

A noter que, comme cité plus haut, le transport ferroviaire est également utilisé comme moyen combiné avec le transport routier, à savoir le ferroutageEzzahraoui (2013).

### Avantages et inconvénients

Le transport ferroviaire présente les avantages suivants :

- Coût peu élevé,
- Possibilité d'expédier des produits lourds et en vrac,
- Documentation simple et assurances incluses.

D'un autre côté ce mode de transport présente les inconvénients suivants :

- Lenteur,
- Décrochages et triages fréquents des wagons,
- Non-accessibilité de plusieurs localités,
- Peu de fournisseurs de services.

#### 1.3.4 Le transport maritime

Le transport maritime consiste à déplacer des marchandises ou des hommes pour l'essentiel par voie maritime, même si, occasionnellement le transporteur 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).

Un tel déplacement sera couvert par un connaissement dans le cadre de la ligne régulière ou d'un contrat d'affrètement dans le cadre d'un service de tramping (lorsque les tonnages sont importants, par exemple).

Ce mode de transport couvre l'essentiel des matières premières (pétrole et produits pétroliers, charbon, minerai de fer, céréales, bauxite, alumine, phosphates, etc).

À côté de ce transport en vrac, il couvre également le transport de produits préalablement conditionnés se présentant sous forme de cartons, caisses, palettes, fûts, ce que l'on a coutume d'appeler de la marchandise diverse ou " divers " (général cargo en anglais) Conf (2005).

#### 1.3.5 Le choix du mode de transport

Pour transporter une personne ou une marchandise d'un point à un autre, il est possible d'utiliser successivement plusieurs modes de transport.

Les raisons de coût, de rapidité et de sécurité guident le choix des modes de transport qui seront mis en œuvre. Quelquefois, c'est la géographie (contournement ou franchissement d'obstacles naturels), le climat et plus généralement l'environnement qui obligent à utiliser un mode de transport (îles, montagnes, inondations, ...).

- Pour réduire le coût, il est intéressant d'emprunter soit des moyens de transport collectifs (train), soit des moyens de transport de grande capacité ((barges, porte-containers, ...), soit les deux. Le début de l'itinéraire a alors pour objectif de rejoindre le moyen de transport le moins coûteux ; la dernière partie de l'itinéraire sert à rejoindre le point de destination finale,
- Pour réduire la durée, il est intéressant d'emprunter des moyens de transport relativement rapides (automobile, train à grande vitesse avion, ...). Le début de l'itinéraire a alors pour objectif de rejoindre cette fois-ci le moyen de transport le plus rapide ; la dernière partie de l'itinéraire sert à rejoindre le point de destination finale,

- Le même raisonnement peut s'appliquer à la recherche de la sécurité.

## 1.4 LE TRANSPORT DE MATIÈRES DANGEREUSES

Dans cette section nous détaillons des concepts liés à un type particulier de transport qui est le transport de matières dangereuses.

### 1.4.1 Que ce que c'est le transport maritime de matières dangereuses ?

Comme toute activité de transport, le trafic de matières dangereuses constitue à une activité économique à part entière, répondant aux besoins des entreprises et des particuliers.

Le transport de matières dangereuses (TMD) ne concerne pas que les produits hautement toxiques, explosifs ou polluants. Il concerne également tous les produits dont nous avons régulièrement besoin comme les carburants, le gaz, les engrais (solides ou liquides), et qui, en cas d'événement, peuvent présenter des risques pour les populations ou l'environnement Bouamrane (2012).

### 1.4.2 Que ce que c'est la marchandise dangereuse ?

Une marchandise dangereuse est une matière ou un objet qui, par ses caractéristiques physicochimiques (toxicité, réactivité ...) peut présenter des risques pour l'homme, les biens et/ou l'environnement.

Tous les jours, une grande variété de marchandises dangereuses est transportée dans le monde, dont la majeure partie (80 pour cent) est destinée à des usages industriels. Ces marchandises peuvent être transportées sous forme liquide (ex : chlore, propane, soude...) ou solide (ex : explosifs, nitrate d'ammonium...).

Ces substances ont souvent une concentration et une agressivité supérieures à celles des usages domestiques Yachba (2012).

### 1.4.3 Quels sont les principaux risques liés aux marchandises dangereuses ?

On distingue neuf catégories de risques Yachba (2012) :

- Le risque d'explosivité : propriété de se décomposer violemment sous l'action de la chaleur ou d'un choc, en provoquant une énorme masse de gaz chauds et une onde de choc.
- Le risque gazeux : risque de fuite ou d'éclatement du récipient ; diffusion du gaz dans l'atmosphère ; risque propre à la nature du gaz : inflammabilité, toxicité, corrosivité, etc.
- L'inflammabilité : propriété de prendre feu facilement.
- La toxicité : propriété d'empoisonner, c'est-à-dire de nuire à la santé ou de causer la mort par inhalation, absorption cutanée ou ingestion.
- La radioactivité : propriété d'émettre divers rayonnements dangereux pour les êtres vivants
- La corrosivité : propriété de ronger, d'oxyder ou de corroder les matériaux (métaux, étoffes, etc.) ou les tissus vivants (peau, muqueuses, etc.).

- Le risque infectieux : propriété de provoquer des maladies graves chez l'homme ou les animaux. Ce risque concerne les matières contenant des micro-organismes infectieux tels que les virus, les bactéries, les parasites.
- Le danger de réaction violente spontanée : possibilité de réagir violemment et spontanément sous forme d'explosion avec production de chaleur et libération de gaz inflammables ou toxiques sous forte pression.
- Le risque de brûlures : propriété de provoquer des brûlures par le chaud ou le froid.

#### 1.4.4 Le risque de transport de matières dangereuses

Dans cette section nous présentons les concepts liés au risque de transport maritime de matières dangereuses.

##### Que ce que c'est le risque TMD

Le risque de transport de matières dangereuses, ou risque TMD, est consécutif à un accident se produisant lors du transport de ces matières par voie routière, ferroviaire, voie d'eau ou canalisations.

Il peut entraîner des conséquences graves pour la population, les biens l'environnement Yachba (2012). Plusieurs facteurs contribuent à rendre difficile l'évaluation du risque lié au transport de matières dangereuses, notamment Net15 :

- La diversité des dangers : les substances transportées sont multiples ; elles peuvent être inflammables, toxiques, explosives, corrosives ou radioactives
- La diversité des lieux d'accidents probables : routes, chemins de fer, mers, ports, air, aéroports, agglomérations ;
- La diversité des causes : défaillance du mode de transport, du confinement et stockage, erreur humaine, etc.

Afin de gérer au mieux ces risques, une réglementation sévère et d'essence internationale est en place depuis de nombreuses années. Elle permet la mise en œuvre d'actions de protection et de prévention. Elle est toutefois caractérisée par un dynamisme exceptionnel venu de la nécessité de s'adapter aux incessants développements technologiques, d'où l'importance de mises à jour régulières afin de garantir l'efficacité des actions mises en œuvre sur le terrain Net15.

##### Classement des enjeux

Les impacts des accidents liés aux TMD sont considérables (Tableau 1.1). Les enjeux sont humains, économiques et environnementaux Net15.

Dans le tableau 1.1 : une liste des enjeux humains, environnementaux, économiques et patrimoniaux a été donnée.



TABLE 1.1 – &lt;Liste des enjeux humains, environnementaux, économiques et patrimoniaux&gt;

Enjeux humains	Type d'enjeux
	Sensibles (hôpitaux, écoles, maisons de retraite, centre d'accueil pour les handicapés)
	Densité d'habitat continue
Enjeux environnementaux	Ressources en eau (rivières, plan d'eau)
	Topographie, sol, géologie
	Richesse biologique (réserve naturelle, parc naturel)
	Proximité de massif forestiers (non protégés)
Enjeux économiques et patrimoniaux	Zone agricole
	Captage d'eau (eaux minérales, eaux publiques, eaux privées)
	Infrastructure de transport (autoroute, nationales, départementales, voies ferrées, aéroport)
	Réseau électrique
	Monuments historiques, sites classés
	Entreprises, industries, commerces

#### 1.4.5 Réglementation

La diversité des modes de transport (routier, ferroviaire, maritime, aérien), ainsi que la diversité des produits transportés et des dangers qu'ils présentent, ont conduit à la mise en place de dispositions réglementaires très précises Yachba (2012) (Voir le tableau 1.2).

Le transport de marchandises dangereuses par voie maritime est régi par le Code maritime international de marchandises dangereuses (Code IMDG). Des normes très précises d'emballage et de documentation doivent être suivies.

Chaque expédition est inspectée avant l'embarquement et peut faire l'objet d'un refus qui se traduirait par des délais et pertes de commerce Net15.

#### 1.4.6 Prévention des risques liés au transport maritime de matières dangereuses

Afin de limiter les risques d'accidents liés au facteur humain, des mesures importantes sont prévues par la réglementation :

- Tout d'abord, tout conducteur des matières dangereuses doit suivre une formation spéciale, puis, tous les cinq ans, une remise à niveau. Ces formations comprennent notamment la connaissance des produits, les consignes de sécurité à appliquer et les conduites à tenir lors des opérations de manutention ou d'arrimages de colis Yachba (2012).
- De plus, toute entreprise qui charge ou transporte des matières dan-

TABLE 1.2 – &lt;Les textes applicables correspondants aux modes de transport&gt;

Mode de transport	Textes applicables
Route	Sensibles (hôpitaux, écoles, maisons de retraite, centre d'accueil pour les handicapés) Arrêté du 1er juillet 2001 modifié le 9 mai 2008 relatif au transport de matières dangereuses par route (règlement ADR)
Fer	Règlement concernant le transport International ferroviaire de matières Dangereuses (règlement RID)
Aérien	Règles de l'association Internationale du Transport Aérien (IATA) et de l'organisation de l'aviation Civile Internationale (OACI) pour les instructions techniques
Canalisation	Arrêté du 4 août 2006 portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques (Arrêté Multifluide)
Fluvial	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par voie de Navigation intérieure (Règlement ADN)
Maritime	International Maritime Dangerous Goods code (Code IMDG)

gereuses doit avoir un « conseiller à la sécurité ». Ce membre du personnel de l'entreprise (qui a suivi une formation spécifique) doit établir un rapport annuel sur les activités de transport et des rapports d'accidents le cas échéant. Cette obligation est entrée en vigueur le 1er janvier 2001 Yachba (2012).

## 1.5 CONTENEUR : HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

La conteneurisation est une idée simple, née aux états unies, et qui tire sa force de sa simplicité. Malcolm McLean en est considéré comme l'inventeur pendant la seconde moitié des années 1950. Son idée consiste à acheminer les marchandises dans des boites ou « containers » fremont (2005).

Ses conteneurs ont une forte capacité : elle correspond au gabarit des remorques routières, longues de 35 pieds. Les boites sont standards. Leur structures est conçue pour autoriser « un gerbage sur sept plans, condition indispensable pour un stockage vertical dans des cales de navires spatialement conçus ».

Il devient des le milieu de l'année 1960 une boite normée dont les standards sont définitivement fixés en 1974 par l'ISO (International Standards Organization) fremont (2005).

Le conteneur a été inventé dans le souci de diminuer les coûts d'exploitation des armateurs. Mais après son introduction dans la chaîne de transport, il a été constaté qu'il était en réalité l'emballage le plus sécurisant pour le transport de marchandises.

Le conteneur est une innovation due à un transporteur routier amé-

ricain, Malcom Mac Lean en 1956. Il eut l'idée de transporter par bateau des remorques de camion, puis de dissocier la caisse du châssis de la remorque, ce qui donna naissance au conteneur.

C'est une boîte destinée à faciliter la manutention et le transport de toutes sortes de marchandises, qui ne sont ni en vrac comme le charbon, ni liquide comme les hydrocarbures.

Au départ à usage intérieur aux USA, il devient international à partir de 1966 et entraîna une véritable révolution dans le transport international. Au départ, les marchandises étaient arrimées dans les cales des navires avec leurs emballages originaux.

Le développement des échanges internationaux a fait accroître le fret maritime. Le chargement et le déchargement des anciens cargos nécessitent alors plus de temps. Ce temps passé à la manutention constitue un facteur qui limite la croissance des profits des transporteurs.

La solution à ce problème a alors conduit les transporteurs à l'idée de l'unitarisation de leurs marchandises car un navire porte - conteneurs de 2 500 EVP (Équivalent Vingt Pieds) est plus économique à la tonne / mile transportée qu'un cargo conventionnel.

Le conteneur connaît alors une utilisation intensive car aux yeux de l'exportateur il présente l'avantage d'une grande souplesse alliée à la capacité d'une continuité de transport (sans rupture de charge) d'un bout à l'autre de la chaîne de transport.

Dans le domaine du transport, un conteneur, est un cadre métallique, en forme de parallélépipède, conçu pour le transport de marchandises par différents modes de transport.

Ses dimensions ont été normalisées au niveau international. Il est muni, dans tous les angles, de pièces de préhension permettant de l'arrimer, de le transborder d'un véhicule à l'autre (pièces de coin), et des verrous tournants fixés sur les châssis des véhicules ou les engins de manutention.

Il fait partie des UTI «unités de transport intermodal» et permet ainsi de diminuer les temps de rupture de charge et de transbordement.

Ses adaptations spécifiques permettent de faciliter les opérations de « mise en boîte » des marchandises (empotage) et de vidage (dépotage).

Ainsi, grâce aux conteneurs, les opérations de manutention dans les ports sont considérablement simplifiées, les temps de chargement et de déchargement des navires sont divisés par deux et plus.

De même les marchandises empotées chez l'expéditeur et dépotées chez le destinataire, voyagent de manière sécurisante, réduisant les pertes, les casses et les vols. Cependant en raison de leur utilisation internationale, les conteneurs ont été conçus suivant des normes standards Laribi (2014).

### 1.5.1 Caractéristiques de 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 fremont (2007).

Le (Tableau 1.3) illustre les différentes caractéristiques des conteneurs.

TABLE 1.3 – &lt;Principales caractéristiques des conteneurs&gt;

Type	Longueur, 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

### 1.5.2 Effets de la conteneurisation sur les ports maritimes

Le conteneur, du fait de ses exigences techniques, de son caractère inter-modal et de son recours à des navires spécialisés et des équipements spéciaux de manutention, transforme le paysage portuaire et le fonctionnement des ports traditionnels.

C'est pourquoi la stratégie des ports a beaucoup évolué. Autrefois, les établissements portuaires étaient principalement tournés vers les activités maritimes ordinaires.

Ces activités liant la logistique, le commerce et autres, étaient assurées par la communauté portuaire de façon relativement indépendante. Il en résulte que les ports imposaient leurs offres de services tant aux armateurs qu'aux chargeurs.

### 1.5.3 Les opérations dans un terminal à conteneurs

Les opérations de manutention se réalisent au terminal à conteneurs (ensemble de quais et parcs de stockage spécialisés par type de marchandises).

Les navires se placent à quai au regard des portiques (grues de quai pour soulever les conteneurs).

A bord du navire, les dockers désarriment les conteneurs qui sont liés les uns aux autres par les pièces de coin durant la traversée. Le portiqueur peut alors placer le spreader (structure où sont fixés les verrous permettant d'accrocher et de soulever le conteneur) à l'aplomb du conteneur et commencer le déchargement.

Au pied de chaque portique un homme ou un système vidéo veille pour repérer l'immatriculation du conteneur et préciser sa position (rangement dans le parc de stockage ou placement sur remorque ou wagon) à un autre docker présent dans un cavalier gerbeur straddle carrier qui va se charger de la manœuvre.

Une fois le déchargement réalisé, les manœuvres s'inversent pour les opérations de chargement. A peine quelques heures suffisent.

L'évolution technologique liée à la conteneurisation a profondément modifié les conditions de travail des dockers : ils sont moins nombreux, mais plus spécialisés et qualifiés.

Les dockers préparent le matériel, participent à l'ouverture des panneaux de cale, guident les conducteurs de portiques et pilotent les chariots élévateurs à terre.

Le pointeur est responsable de la gestion du parc à conteneurs. Depuis son terminal informatique, il affecte les marchandises à des emplacements précis en fonction de leurs destinations. Il est également chargé d'identifier et de contrôler les conteneurs qui quittent le terminal.

Le planificateur de navire « ship planner » est chargé d'organiser le plan de chargement sur un navire : il doit attribuer à chaque conteneur un emplacement précis à bord du navire. Il veille à ce que la stabilité du navire soit respectée.

En effet, le placement des conteneurs est effectué de façon à faciliter leur déchargement dans la chronologie de leurs destinations c'est-à-dire les ports de débarquementkefi (2008).

#### 1.5.4 Processus de chargement et de déchargement d'un conteneur dans un terminal maritime

Le processus de déchargement et de chargement dans un terminal à conteneurs peut être divisé en opérations ou activités qui vont être présentées en détail dans les sections suivantes.

Lorsqu'un navire arrive au port, des portiques ou des grues de quais déchargent les conteneurs en import par ce navire. Puis, ces conteneurs sont transférés de ces grues à des véhicules se déplaçant entre le navire et la zone de stockage des conteneursDubreuil (2008).

Cette zone est constituée d'un nombre de baies où les conteneurs peuvent être stockés en piles pendant une certaine période. Des équipements comme les grues ou les cavaliers gerbeurs sont affectés à ces baies.

Un cavalier gerbeur peut à la fois transporter des conteneurs et les stocker dans une zone de stockage. Il est possible aussi d'utiliser des véhicules dédiés au transport des conteneurs. Si un véhicule atteint la zone de stockage, il dépose sa charge ou bien une grue de stockage décharge le conteneur et le stocke dans la zoneDubreuil (2008).

Après une certaine période, les conteneurs sont retrouvés par les grues dans la zone de stockage pour être conduits sur des véhicules vers différents moyens de transport : barges, navires, trains ou camions selon différents modes de transport : voie navigable, voie ferroviaire ou voie terrestre. Pour le chargement des conteneurs en export sur un navire, ces activités sont exécutées dans l'ordre inverse Dubreuil (2008).

La figure 1.1 illustre le processus de chargement et de déchargement des conteneurs dans un terminal à conteneurs.

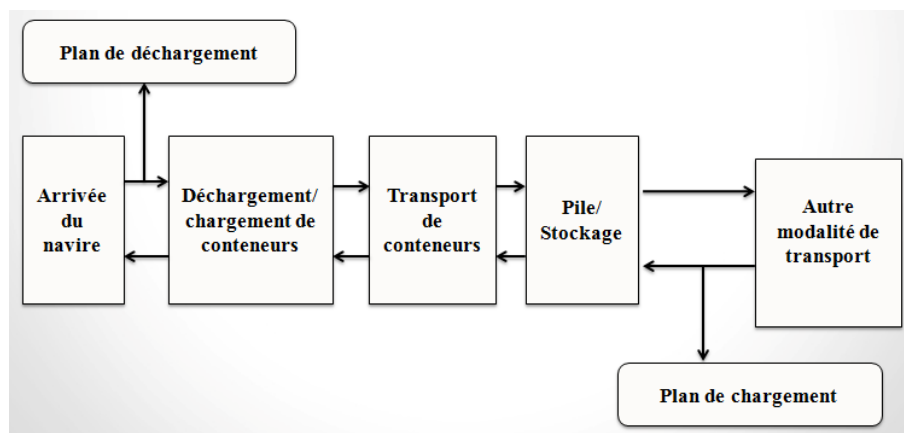


FIGURE 1.1 – Le processus de chargement/déchargement des conteneurs

Dans un port maritime, les navires arrivent dans un ordre chronologique. Des qu'un navire arrive, il sera affecté à un poste à quai s'il y a une

place libre, sinon il est obligé d'attendre jusqu'à ce que le poste à quai soit libre. Une fois le poste à quai se libère, le navire est affecté à ce dernier, il commence le déchargement ou le chargement des conteneurs.

### La gestion des arrivées des navires

La figure 1.2 illustre le processus de gestion des arrivées des navires dans un terminal à conteneurs.

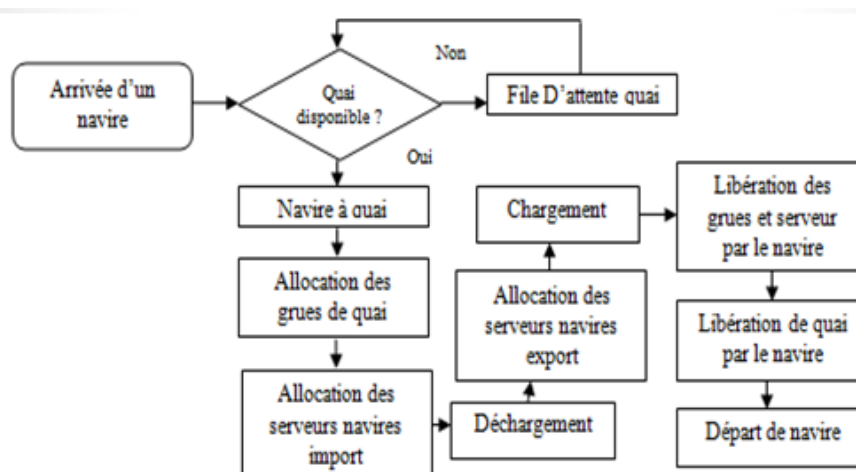


FIGURE 1.2 – Le diagramme des arrivées des navires

### Le processus de déchargement des navires

Suite aux divers processus d'allocation des équipements, la simulation procède au sous-modèle du processus de déchargement des navires (Figure 1.3).

La première étape de celui-ci consiste à la saisie du plan de conteneurs importés. Ensuite, le premier conteneur est déchargé et transporté jusqu'à la pile de la zone de stockage du terminal. Suite à ce transport, la disponibilité du serveur pour le transfert du conteneur dans la pile est inspectée. Si le serveur est disponible, le conteneur est transféré et l'inventaire de conteneurs du terminal est ajusté (Dubreuil (2008)).

Dans le cas contraire, le conteneur se place dans la file d'attente du serveur. À chaque conteneur qui est déchargé du navire, la condition de fin du processus de déchargement est vérifiée. Lorsque cette condition est vraie, les serveurs sont relâchés et le processus d'allocation de serveurs pour le chargement des navires se met en branle (Dubreuil (2008)).

### Le processus de chargement des navires

Le processus de chargement des navires débute avec la saisie du plan de conteneurs exportés.

Une fois le nombre de conteneurs à charger connu, le premier conteneur vérifie la disponibilité du serveur à la pile de conteneurs à charger. S'il est libre, le serveur extrait le conteneur de la pile et le conteneur est ensuite transporté vers la grue de quai. S'il n'est pas disponible, le conteneur est maintenu dans la file d'attente pour le serveur (Dubreuil (2008)).

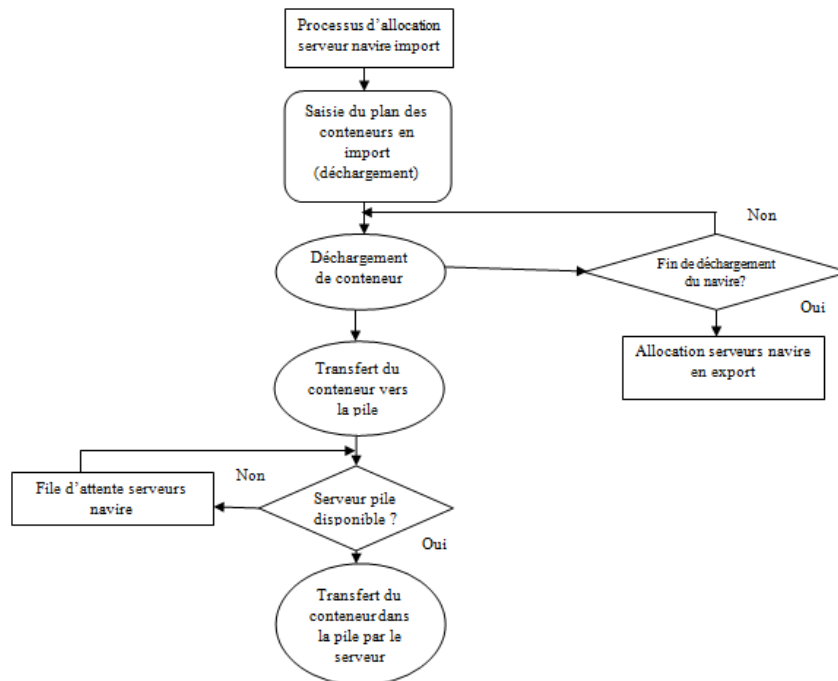


FIGURE 1.3 – Le diagramme de déchargement des navires

Lorsque les conteneurs sont extraits de la pile, l'inventaire de conteneurs du terminal est ajusté pour déduire les conteneurs qui sont chargés sur le navire. Suite au transport du conteneur, celui-ci est chargé sur le navire par la grue de quai si elle est libre, ou il est maintenu dans la file d'attente si la grue est occupée à charger un autre conteneur. Lorsqu'un conteneur est chargé sur le navire, la condition de fin du processus de chargement est interrogée. Si elle s'avère fautive, le processus se poursuit, tandis que si elle s'avère vraie le processus se termine, les grues de quai et les serveurs sont relâchés et le navire retourne au modèle d'arrivée des navires où le quai est relâché et le navire quitte le terminal Dubreuil (2008).

Le sous-modèle précédemment décrit est représenté par la figure 1.4

### 1.5.5 Avantages et inconvénients de l'utilisation des conteneurs

Les conteneurs ne doivent être pas manutentionnés par passage de fourche sous le plancher, il faut utiliser des portiques portuaires ou des chariots élévateurs avec palonnier. Le développement des utilisations des conteneurs a permis de Cours16 (2016) :

- Éliminer les ruptures de charges,
- Protéger les marchandises,
- Améliorer la sécurité des marchandises,
- Accélérer les opérations de manutention,
- Standardiser les opérations successives,
- Faciliter les opérations de transport inter modal (c'est à dire qui utilise différents modes de transport).

Le conteneur est le moyen idéal de l'inter-modalité, son caractère standard et interchangeable ainsi que sa robustesse permet un usage répété.

D'un autre côté la conteneurisation présente les inconvénients suivants :

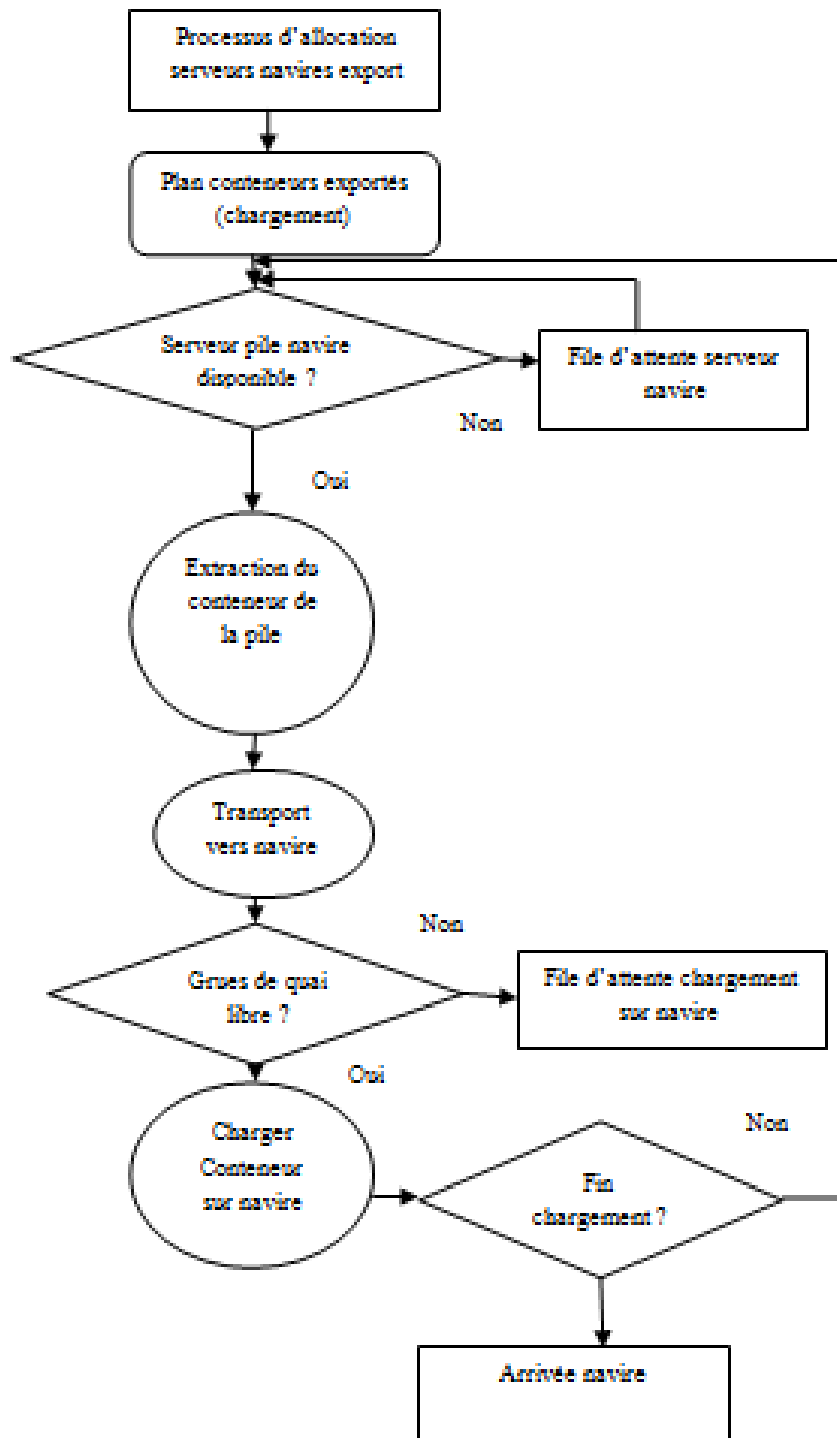


FIGURE 1.4 – Le diagramme de chargement des navires



- Investissement coûteux,
- Difficile adaptation des ports, et moyens de transport des pays en voie de développement,
- Normalisation encore insuffisante,
- Déséquilibre des flux de marchandises imposant des transports de TC à vide,
- Empotages et chargements mal exécutés.

## 1.6 CONCLUSION

Nous avons tenté dans ce chapitre introductif de décrire le cadre général de notre travail et de connaître au mieux les nouveaux concepts s'y posant, et ce dans le but de contourner et de maîtriser la problématique ci étudiée. Comme nous le constatons, la conteneurisation et la logistique des terminaux à conteneurs mettent en questions plusieurs problèmes de décisions émanant des différentes opérations effectuées au sein d'un conteneur dans le transport maritime.

Dans le chapitre suivant, nous présentons un état de l'art du problème de stockage des conteneurs (PSC) auquel nous nous intéressons dans cette thèse.



# LE PROBLÈME DE STOCKAGE DE CONTENEURS (PSC) ET MÉTHODES DE RÉOLUTION

## SOMMAIRE

4.1	INTRODUCTION . . . . .	59
4.2	OUTILS DE DÉVELOPPEMENT . . . . .	59
4.2.1	L'environnement de travail . . . . .	59
4.2.2	Le langage de programmation . . . . .	60
4.3	DESCRIPTION DE LOGICIEL . . . . .	60
4.3.1	Lancement de l'application . . . . .	60
4.3.2	Présentation de l'interface principale de l'application . . .	60
4.3.3	Lancement de la simulation . . . . .	69
4.4	CONCLUSION . . . . .	70
	CONCLUSION . . . . .	70

**D**ANS ce chapitre, nous présentons un d'état de l'art sur le problème de stockage de conteneurs et nous citons quelques méthodes de résolution de ce problème, nous positionnons notre contribution dans ce sens tout en expliquant l'apport de notre solution . . .



## 2.1 INTRODUCTION

L'espace maritime est défini comme un système géographique dont la finalité consiste à relier les espaces continentaux. Le transport maritime est donc un instrument privilégié des échanges internationaux et a connu plusieurs révolutions pour s'adapter au fil du temps à l'évolution des échanges.

Un port est un endroit géographique par lequel transitent des marchandises et/ou des passagers. Un port maritime est un port qui accueille des navires de mer, qui est un lieu de rendez-vous entre ces navires de mer et l'ensemble des divers modes de transport terrestre. C'est également nécessairement un télé port par lequel transitent toutes les données informatisées indispensables à la facilitation du transit, aussi bien des navires que des marchandises Laribi (2014).

Les terminaux portuaires constituent des zones importantes de transfert de conteneurs entre les différents modes utilisés. Les conteneurs transitent entre plusieurs modes de transport avec des périodes de stockage temporaire dans l'attente de leur exportation. Les dockers utilisent plusieurs matériels de manutention selon la nature de l'opération. Les cavaliers, engins les plus utilisés, permettent de transporter rapidement les conteneurs entre plusieurs zones de stockage. Ils permettent également le déchargement des poids-lourds.

Les reach-stackers, plus maniables, permettent la déposer des conteneurs sur les wagons ferroviaires. Ils assurent principalement les opérations de chargement/déchargement à partir des zones de stockage tampon. Ces deux types d'engins sont capables d'opérer des stockages verticaux.

L'optimisation de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire est un problème logistique très important qui a attiré l'attention des chercheurs depuis plusieurs décennies.

Deux grands axes d'optimisation de stockage sont généralement étudiés : l'optimisation du temps de stockage et l'optimisation de l'espace de stockage. Ces deux problèmes sont souvent traités séparément.

Quelques travaux traitent la minimisation de la flotte de véhicules dans un terminal à conteneurs. La minimisation du nombre de véhicules utilisés dans un terminal à conteneurs et la minimisation du temps de déplacements des cavaliers sont les objectifs des études d'ordonnancement des tâches attribuées aux cavaliers.

## 2.2 ARRIMAGE DE CONTENEURS

Il s'agit de la planification d'arrimage des conteneurs dans un navire. En général, un navire fait escale dans un nombre de ports où les conteneurs seront chargés et déchargés Avriel (2000). Ceux qui sont chargés, sont destinés à un nombre de ports successifs tout au long de la route du navire en question.

Ce problème considère l'affectation des conteneurs à différentes positions dans le navire, tout en maintenant sa stabilité et en minimisant le nombre de mouvements inutiles ou parasites Steenken (2001).

Ces derniers apparaissent dans un port lorsqu'on y dispose de conteneurs stockés au-dessus d'autres destinés à ce port, alors ils doivent être déchargés et rechargés de nouveau. Évidemment, les conteneurs lourds sont généralement stockés au fond du navire et les conteneurs légers sont alors empilés au-dessus, Kim et alKim (2000). Notons que les conteneurs de tailles différentes ne peuvent pas être empilés les uns sur les autres, Kim et alKim (2000).

En plus du poids et de la taille, d'autres critères sont pris en considération : les conteneurs frigorifiques, par exemple, demandent une puissance électrique existant seulement dans des positions spécifiques dans le navire. Certains conteneurs transportant des matériaux dangereux exigent des conditions d'arrimage bien déterminés distinctes de celles des autres. Outre ces restrictions techniques, la destination des conteneurs doit être prise en compte, Wilson et RoachWilson (2000).

Les conteneurs seront chargés/ déchargés à l'aide des portiques affectées au navire. Certainement, le nombre de portiques affectées à un navire influe le temps de manipulation de ce dernier.

### 2.3 PROBLÈME DE STOCKAGE DES CONTENEURS (PSC)

Le Problème de stockage de conteneurs ou Container Stacking Problem en anglais, vu la grande concurrence entre les ports, l'amélioration du service clientèle est devenu un problème important pour un port de terminaux à conteneurs. L'une des mesures de performance du service clientèle est le temps total passé par les navires aux quais d'un port.

Ce temps est composé en majeure partie du temps de chargement et de déchargement des conteneurs. Dans le but de réduire le temps de chargement, il est nécessaire de choisir des emplacements de stockage pour les conteneurs en import ou en export de manière à pouvoir être chargés efficacement dans le navire, le camion, ou le wagon associé.

Dans cette section, nous nous focalisons sur l'opération alliant transbordement, empilement et dépilement des conteneurs. Cette opération constitue un problème représentant un maillon fort important de la chaîne des problèmes de décision rencontrés dans un terminal à conteneurs : c'est le Problème de Stockage de Conteneurs Container Stacking Problem ou Container Handling Problem. Ce problème sera désigné par l'acronyme PSC.

Le processus de stocker et de retrouver les conteneurs doit être exécuté de manière à assurer un bon déroulement du reste des opérations ayant lieu dans le terminal.

L'efficacité de ce processus dépend entre autres du taux d'occupation des zones de stockage ainsi que des stratégies définies pour le stockage et la recherche des conteneurs en import ou en export.

Commençons par introduire une notion de base rencontrée dans la réalité de l'activité de stockage de conteneurs, et adoptée tout au long de notre travail : La pile.

Dans notre contexte, la pile permet aux activités diverses de transport de se produire indépendamment l'une de l'autre. Si aucune pile n'existe, alors chaque arrivée de navire (ou autre mode) devrait être suivie directement par la décharge aux véhicules transporteurs. Ceci constitue une

opération logistique complexe car toutes les arrivées devraient être coordonnées. Toutes ces contraintes causeraient beaucoup de congestion et seraient susceptibles aux retards inévitables.

Il existe différents systèmes d'empilement. Dans notre cadre, nous considérons l'empilement en piles dans une zone de stockage. En fait, c'est le système adopté dans la plupart des terminaux à conteneurs.

Quelques conteneurs comme par exemple les conteneurs frigorifiques reefers exigent des emplacements spéciaux où l'électricité peut être fournie. La détermination de la capacité ou encore la hauteur de la pile est un problème de conception important dans un terminal puisque la pile occupe un espace coûteux.

L'empilement élevé peut être préconisé, mais le nombre estimé de remaniements croît brusquement avec la hauteur d'empilement. Rappelons qu'un remaniement est un mouvement improductif ou encore parasite.

Un autre paramètre en relation avec la hauteur de la pile doit être pris en compte, il s'agit de sa disposition :

- Quelles largeur et longueur doit-elle avoir ?,
- Combien de piles seront-elles utilisées ?.

Ensuite, on doit décider dans la conception du type d'équipement qui sera utilisé pour l'empilement.

Souvent, les piles sont classées dans deux zones de stockage différentes : une zone d'import et une zone d'export.

Les conteneurs en import arrivent d'habitude dans de grands navires porte-conteneurs, de manière quelque peu prévue. Cependant, ils vont probablement partir dans un ordre imprévisible, donc ils ne peuvent pas être empilés qu'en haut.

Les conteneurs en export peuvent arriver aléatoirement, mais leur départ est d'habitude lié à un navire et de là, ils peuvent être empilés de meilleure manière.

Au niveau tactique, on doit décider de l'affectation de la pile à de certaines activités (par exemple à des navires).

Au niveau opérationnel, on doit décider du conteneur à empiler et de sa position pour éviter les remaniements autant que possible. Notons la relation étroite de ce problème avec le problème d'arrimage déjà présenté.

Dans le PSC il s'agit aussi de stocker les conteneurs les uns au-dessus des autres dans le but de minimiser le nombre de mouvements parasites. Cependant, le problème d'empilement est considéré difficile du fait de l'incertitude à propos des conteneurs qui seront recherchés avant les autres.

Pour des conteneurs en import, cette incertitude existe parce que les véhicules transporteurs arrivent plus ou moins aléatoirement pour soulever un conteneur bien déterminé.

Pour des conteneurs en export, on connaît d'habitude le navire avec lequel ils vont partir. Cependant, le plan d'arrimage n'est disponible que quelques instants avant le chargement et ainsi, la plupart des conteneurs sont déjà stockés dans la pile. Cela produit des mouvements inutiles qui ralentissent l'opération de chargement.

Dans le cas où le plan d'arrimage serait disponible plus tôt, les conteneurs pourraient être réorganisés dans la zone d'export. Cela mène à un

empilement " idéal " et donc, à moins de charge de travail pendant l'opération de chargement du navire.

Kim et al Kim (1998) décrit une approche à deux phases visant à minimiser le nombre de conteneurs à déplacer et à le faire en la plus courte distance. Bien qu'une telle approche de réorganisation semble très intéressante, il n'est pas souvent possible de procéder ainsi.

Les notions de base du PSC ainsi éclaircies, il s'avère alors important de définir ce problème, de donner les contraintes et les paramètres du problème, parcourir quelques problèmes analogues, et pour finir, fournir une synthèse bibliographique des différentes méthodes existantes pour sa résolution tout en positionnant nos contributions dans ce domaine et en précisant la particularité de chaque contribution par rapport à ce qui existe dans le domaine.

### 2.3.1 Définition du PSC

Après avoir parcouru maints travaux consacrés au PSC, nous adoptons la définition du PSC suivante, donnée dans Kim (2000) : à l'arrivée d'un conteneur en import ou en export, il s'agit de décider presque en temps réel de son emplacement exact parmi les emplacements vides de manière à rendre efficace son chargement sur un navire, camion ou train.

En général, la détermination d'un emplacement doit s'effectuer de manière à minimiser le nombre des mouvements parasites ou improductifs pouvant avoir lieu lorsqu'on veut rapprocher un conteneur éloigné ou extraire un conteneur se trouvant en dessous d'autres au moment de son départ pour être chargé sur le navire, train ou camion associé.

## 2.4 LES MÉTHODES DE RÉOLUTION DE PSC

Le problème de stockage de conteneurs auquel nous nous intéressons constitue un problème de décision représentant l'activité de stockage de conteneurs, composante prépondérante de tout le processus de gestion d'un port. En conséquence, nous proposons une partie des travaux réalisés dans ce domaine.

Dans le travail de Kim et al, 1997 Kim (1997) une planification des séquences du chargement des conteneurs à exporter dans un port maritime a été faite en utilisant un algorithme optimal de routage.

Korbaa et al, 2004 Korbaa (2004) utilisent un algorithme de programmation dynamique basé sur une loi d'arrivée stochastique des barges pour résoudre le problème d'affectation en temps réel de conteneurs déchargés à des zones de stockage tout en minimisant le nombre de mouvements parasites.

Dans le travail de Murty et al, 2005 Murty (2005) : un système d'aide à la décision pour la minimisation du temps d'allocation des navires aux postes à quai a été proposé. Julien Dubreuil, 2008 Dubreuil (2008) utilise un système de transport intelligent pour traiter le problème de transition des conteneurs dans un port.

Meriam Kefi Gazdar, 2008 kefi (2008) utilise les heuristiques glouttonnes sous une architecture multi agent afin d'optimiser le stockage de conteneurs. Khaoula Chebli, 2011 Chebli (2011) a proposé dans son travail



une approche heuristique pour résoudre le problème de planification des opérations de chargement des conteneurs.

Ndèye , 2014 Ndeye (2014) Propose un algorithme Branch-and-Cut pour résoudre le problème de stockage de conteneurs et en prenant en considération des contraintes supplémentaires afin d'éviter les remaniements aux quais et en respectant l'ordre dans lequel les conteneurs sont déchargés par les navires.

Dans ce qui suit (Tableau 2.1)(Tableau 2.2)nous proposons un tableau comparatif des travaux réalisés dans le domaine de stockage de conteneurs.

### 2.4.1 Positionnement de notre contribution

Le présent travail s'insère dans le cadre des travaux de recherche menés dans le domaine d'aide à la décision multicritères d'optimisation et de simulation Yachba (2015),Yachba (2016).

Nous nous intéressons au problème lié au placement de conteneurs pleins dans la zone de stockage plus particulièrement les conteneurs dangereux, où nous proposons un modèle qui traite l'opération d'affectation des conteneurs dangereux dans un port maritime.

Le modèle nous permet de faire des analyses du système de transport maritime et nous aide par la suite à établir des prévisions sur la gestion de stockage de conteneurs dans un port maritime.

Dans cette thèse nous présentons notre contribution qui traitent le PSC, dans ce qui suit nous détaillons l'apport de cette contribution par-apport à ce qui a été mentionné dans les tableaux(Tableau 2.1)(Tableau 2.2).

Quand un nouveau conteneur arrive, on lui cherche un emplacement. L'objectif étant d'identifier quel est l'emplacement optimal pour ce nouveau conteneur ? En prenant en compte différents paramètres tels que :

- La date de départ du conteneur : le conteneur qui à une date de départ plus proche sera affecté à une pile qui est la plus proche de la sortie de la zone de stockage.
- La catégorie de conteneur : chaque conteneur à une catégorie, les conteneurs de la même catégorie seront placés dans une même pile.
- La hauteur maximale de la pile : chaque pile à une hauteur maximale, si la pile est pleine, on ne peut pas insérer un conteneur.
- Le nombre de piles : le nombre de piles est fixé dès le départ selon l'espace de la zone de stockage.

La particularité de notre travail s'articule dans l'utilisation de l'algorithme génétique pour trouver un emplacement optimal d'un conteneur dangereux dans un port, dans les travaux cités précédemment les solutions proposées sont basées sur une seule contrainte mais dans notre cas nous prenons en compte postérieures contraintes et nous traitons un type particulier de conteneur qui est le conteneur dangereux.

En engineering plusieurs problèmes nécessitent l'utilisation des méthodes d'optimisation pour s'approcher ou avoir la solution optimale.

Les méthodes déterministes semblent avoir rempli ce besoin, mais le problème des optimums locaux constitue un véritable piège pour accéder à l'optimum global. D'où, l'utilisation des méthodes stochastiques dites

TABLE 2.1 – &lt;Un tableau comparatif des travaux connexes&gt;

Auteurs	Problème traité et ses caractéristiques	Méthode(s) de résolution	Contributions clés
Kim (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planification des séquences du chargement des conteneurs à exporter dans un port maritime</li> <li>- Minimisation du temps total de manutention des conteneurs par les portiques de cour.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algorithme optimal de routage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination du nombre optimal des conteneurs à collecter dans chaque baie et de la route optimale des portiques de cour</li> </ul>
Dubreuil (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propose des pistes de solutions afin de faciliter la transition des conteneurs dans ces terminaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un système de transport intelligent.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effectue plusieurs simulations en utilisant un STI.</li> </ul>
kefi (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propose principalement une approche distribuée de résolution de problème de stockage de conteneurs à travers la description d'un modèle d'optimisation heuristique distribuée COSAH (CONtainer Stacking via multi-Agent approach and Heuristic method).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algorithme heuristique : les heuristiques gloutonnes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilise une architecture multi agents.</li> <li>- Prise en compte que le départ d'un conteneur.</li> </ul>
Ndeye (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire sans remaniements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propose une nouvelle formulation sous forme d'un problème d'affectations à coût minimal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimiser le temps de transport des conteneurs entre la zone de stockage et les navires.</li> <li>- Amélioration d'un modèle mathématique qui permet d'éliminer les remaniements en rangeant dans chaque pile les conteneurs suivant l'ordre décroissant de leurs dates de départ.</li> </ul>

TABLE 2.2 – &lt;Un tableau comparatif des travaux connexes&gt;

Chebli (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Examine les mouvements non productifs et les interférences possibles entre ce type de portique simultanément.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Une approche heuristique de type Recherche Adaptative à Large Voisinage (ALNS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le problème de planification des opérations de chargement des conteneurs est formulé en programme linéaire mixte.</li> <li>– La fonction objective minimise le temps de complétion des opérations de manutention par les portiques de cour.</li> <li>– Prend en compte des deux phénomènes d'interférence et des mouvements non productifs.</li> </ul>
Ndeye (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Algorithme de recuit simulé et l'algorithme génétique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Développe des hybridations combinant les algorithmes génétiques et le recuit simulé.</li> </ul>

méta heuristiques qui en général, évitent ce problème et ayant une grande capacité de trouver l'optimum global.

Parmi ces techniques, celles basées sur l'intelligence collective, inspirées de la nature, le plus répandu est à savoir : les algorithmes génétiques (AGs.).

Les algorithmes génétiques ont été inventés par John Holland et ont été développés par lui et ses étudiants et ses collègues Souquet (2004). Il introduit le premier modèle formel des algorithmes génétiques dans son livre « Adoption in naturel and artificiel System » publié en 1975.

En 1992, John Koza a utilisé l'algorithme génétique pour évoluer des programmes pour exécuter certaines tâches. Il a appelé sa méthode « genetic programming » Souquet (2004).

Après avoir parcouru maints travaux consacrés au PSC en utilisant les algorithmes génétiques nous présentons dans le tableau 2.2 une récapitulation de ces travaux tout en positionnant notre proposition.

La particularité de cette contribution par rapport aux travaux cités précédemment c'est que nous traitons dans notre travail les conteneurs dangereux pleins en respectant deux contraintes : la contrainte distance et la contrainte type.

Lors de stockage des conteneurs dangereux, il faut prendre en considération quelques conditions :

1. Les conteneurs de classes différentes doivent être séparés par une distance horizontale de 2.4m (largeur d'un conteneur).
2. Les conteneurs qui transportent une marchandise radioactive doivent être éloignés de 5 mètres de tout autre conteneur dangereux.
3. Les piles peuvent stocker que les conteneurs de leurs types.

Dans ce qui suit (Tableau 4.1) nous donnons un tableau comparatif des différents travaux qui utilisent le même algorithme tout en positionnant notre proposition.

## 2.5 CONCLUSION DU CHAPITRE

Dans ce chapitre, nous avons situé le contexte de notre étude en mettant en évidence les problèmes qu'affrontent les gestionnaires des ports d'aujourd'hui pour l'affectation et l'emplacement des conteneurs dans la zone de stockage (Pile).

En effet, la gestion de processus portuaires, notamment l'affectation des conteneurs dans les emplacements dans la zone de stockage dans les terminaux portuaires de nos jours, n'est plus la simple tâche sans enjeux importants.

Elle est, au contraire, devenue un élément stratégique incontournable avec l'importance de la concurrence par les délais, l'augmentation considérable du trafic conteneurisé au cours des dernières années, la congestion qui en résulte dans les terminaux à conteneurs dans le monde, l'augmentation remarquable de la capacité des porte-conteneurs et le coût d'exploitation accrue des navires porte-conteneurs.

TABLE 2.3 – <Un tableau comparatif des travaux connexes qui utilise le même algorithme (AG)>

Auteurs	Problème traité et ses caractéristiques	Méthode(s) de résolution	Contributions clés
Ayachi (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prend en considération plusieurs types de conteneurs ( pleins et vides) .</li> <li>– Respecter les délais de livraison.</li> <li>– Réduction de temps d’attente des navires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Algorithme génétique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comparaison avec FIFO Algorithme.</li> <li>– Stocker tous les conteneurs dont le type est différent.</li> </ul>
Jyoti (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prend en considération plusieurs types de conteneurs (pleins et vides).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Algorithme génétique et Algorithme génétique Hybride.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Améliorer la performance de l’algorithme génétique pour remédier à l’inconvénient de difficulté de trouver les valeurs initiales.</li> </ul>
Quan (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prend en considération plusieurs types de conteneurs (pleins et vides).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Propose un algorithme génétique pour résoudre une allocation de stockage étendue de PSC dans un terminal à conteneurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Un modèle mathématique prenant en considération les différents types de conteneurs..</li> </ul>

**D**ans le chapitre suivant nous détaillons le modèle proposé en expliquant les contributions clés de notre approche. ...

# CONCEPTION ET MODÉLISATION D'UN SYSTÈME DE STOCKAGE DE CONTENEURS DANGEREUX.

# 3

**L**A phase de conception permet de décrire le plus souvent en utilisant un langage de modélisation, le fonctionnement du système afin d'en faciliter sa réalisation.

Le présent chapitre se concentre sur les démarches à suivre pour le développement de nos contributions.

Notre travail consiste à résoudre le problème de stockage des conteneurs dans la zone de stockage (PSC).

Pour ce faire, nous avons d'abord proposé un modèle qui reflète les contraintes réelles et qui minimise simultanément les nombres de mouvements, les distances totales à parcourir, et le coût de stockage tout en regroupant les conteneurs par catégorie. . . .





### 3.1 INTRODUCTION

Nous traitons dans cette thèse le problème de stockage de conteneurs dans un port maritime.

Un terminal à conteneurs est un système complexe constitué de plusieurs composantes en interdépendance. Plusieurs appareils de manutention permettent d'acheminer les conteneurs au niveau du port afin de mieux répondre aux demandes des navires en attente de chargement ou de déchargement.

Avoir une bonne organisation de la zone de stockage des conteneurs du terminal demande un effort particulier. En effet, le respect des contraintes de temps de chargement des navires dépend de l'emplacement des conteneurs dans la zone de stockage. Afin de pouvoir gérer efficacement cette zone, il est nécessaire de connaître l'emplacement de chaque conteneur.

Les temps de recherche des conteneurs sont parfois considérables et entraînent des retards importants provoquant des pénalités financières pour les opérateurs de gestion des terminaux.

Un emplacement optimal d'un conteneur dans les terminaux est très important pour les entreprises car cette opération permet de réduire les coûts de transport.

Dans notre travail, nous proposons une approche pour résoudre le problème de placement des conteneurs à travers la description d'un modèle qui permet d'optimiser l'espace de stockage disponible pour manier la distance parcourus entre les conteneurs et les emplacements de stockage dans un port maritime. Autrement dit, un modèle qui permet de minimiser le nombre total de mouvements inutiles tout en respectant des contraintes d'espace et de temps.

Lors de leur arrivée dans un port maritime, les navires restent inactifs à quai pendant toute la durée des opérations de chargement et déchargement. Les opérateurs de manutention du terminal portuaire reçoivent un planning indiquant les dates de chargement et de déchargement des conteneurs, ainsi que leurs emplacements dans les zones de stockage. L'enjeu pour les autorités portuaires est alors de déterminer le plan de stockage des conteneurs de sorte à minimiser le temps total de traitement (chargement ou déchargement) de ces derniers. Le temps de traitement dépend de divers paramètres tels que :

- La distance entre les navires et la zone de stockage,
- L'ordre dans lequel les conteneurs sont traités,
- Le temps nécessaire pour effectuer des mouvements de conteneurs (déplacement nécessaire d'un conteneur dans un espace tampon avant le traitement d'un autre conteneur).

Les remaniements prennent une place importante dans les opérations puisqu'ils entraînent des mouvements inutiles de conteneurs. Dans la pratique, une des stratégies couramment utilisées est de déterminer le stockage optimal des conteneurs permettant de minimiser le temps requis pour effectuer les remaniements lors du traitement. Dans ce travail, l'objectif est de minimiser le coût et augmenter le rendement des compagnies de transport en minimisant le temps occupé par un conteneur ou un navire dans un port. Ceci revient à réviser le placement des conteneurs dans

la zone de stockage (en prenant en considération la distance entre le conteneur et la zone de stockage, et en respectant le type de chaque conteneur) en minimisant le nombre de mouvements inutiles.

En ce sens nous étudions la manière d'organiser la zone de stockage de conteneurs dangereux de telle sorte qu'on trouve un emplacement optimal pour chaque conteneur. L'objectif consiste à évaluer les coûts de placement de conteneur, la qualité de service (durée pendant laquelle le conteneur reste dans le système), et les améliorations possibles de la structure du réseau du port. Pour cela, nous nous sommes intéressés à l'élaboration d'un modèle qui permet l'identification du meilleur emplacement pour un conteneur dans un port maritime.

Notre étude concerne le problème de stockage des conteneurs dangereux (Container Stacking Problem) désigné par l'acronyme PSC qui est un processus qui décide presque en temps réel l'emplacement exact parmi les emplacements vides d'un conteneur en import ou en export de manière à rendre efficace son chargement sur un navire, camion ou train. En général, la détermination d'un emplacement doit s'effectuer de manière à minimiser le nombre des mouvements parasites ou improductifs pouvant avoir lieu lorsqu'on veut rapprocher un conteneur éloigné ou extraire un conteneur se trouvant en dessous d'autres au moment de son départ pour être chargé sur le navire, train ou camion associé (Kefi (2008)). Lors de stockage des conteneurs dangereux il faut prendre en considération quelques conditions Netto8 :

- Les conteneurs de classes différentes doivent être séparés par une distance horizontale de 2.4m (largeur d'un conteneur).
- Les conteneurs qui transportent une marchandise radioactive doivent être éloignés de 5 mètres de tout autre conteneur dangereux.
- Les piles peuvent stocker que les conteneurs de leurs types.

### 3.1.1 Objectifs visés

Le système d'optimisation des placements de conteneurs dangereux dans un port maritime que nous avons développé dans les trois contributions proposées dans cette thèse, vise les objectifs suivants :

- Minimiser le nombre de déplacements des conteneurs dangereux d'un emplacement à un autre en tenant compte des différentes contraintes comme les types de conteneur, date d'arrivée et du départ des conteneurs de la zone de stockage et la distance entre la zone temporaire et la pile de stockage etc (choix optimal d'emplacement de conteneur).
- Réduire le temps de chargement et déchargement et cela par le meilleur choix des emplacements de stockage des conteneurs dangereux.
- Diminuer le temps de parcours des conteneurs dans la zone de stockage en accélérant l'opération de chargement/déchargement des conteneurs en import/export et en minimisant les mouvements improductifs et les distances " parcourues " par ces conteneurs.
- Réduire le coût du stockage des conteneurs dans la zone de stockage.

- Accroître la productivité des entreprises de transport de marchandises.
- Offrir une meilleure gestion de processus de stockage de conteneurs.

### 3.2 MODÈLE PROPOSÉ

Notre modèle proposé pour la gestion du problème de stockage des conteneurs dangereux est basé sur les algorithmes génétiques qui sont des méta heuristiques et qui peuvent donner l'emplacement optimal des conteneurs dangereux (voir figure 3.1). Le modèle proposé comprend principalement trois phases :

1. La première phase c'est la configuration initiale de la zone de stockage : elle consiste à identifier les paramètres d'entrée de notre système qui sont : le nombre de navires, le nombre de conteneurs, le nombre de piles etc. Ces paramètres représentent une entrée vers la deuxième phase.
2. La seconde phase c'est la phase d'optimisation à travers l'algorithme génétique de cette phase résulte le meilleur emplacement pour chaque conteneur dangereux qu'on veut placer dans la zone de stockage.
3. La dernière phase c'est la phase de résultat de placement : elle consiste à affecter le conteneur dangereux dans l'emplacement donné par l'algorithme génétique et mettre à jour l'état de la zone de stockage.

La figure 3.1 illustre les différentes phases et étapes d'utilisation du modèle proposé.

### 3.3 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE

L'organigramme de la figure 3.2 résume de façon générale l'implémentation de l'algorithme génétique dans notre application.

Lors de l'arrivée des conteneurs dangereux aux zones on aura le problème de stockage des conteneurs (PSC), On peut résoudre ce problème par l'implémentation des algorithmes génétiques et on obtient comme résultat : l'affectation optimale des conteneurs aux piles.

### 3.4 MODÉLISATION UML

Dans cette partie nous présentons quelques diagramme UML de notre système.

#### 3.4.1 Le diagramme de classe

Nous préconisons l'utilisation des diagrammes de classes pour présenter les classes et les interfaces des systèmes de placement de conteneurs ainsi que les différentes relations entre celles-ci.

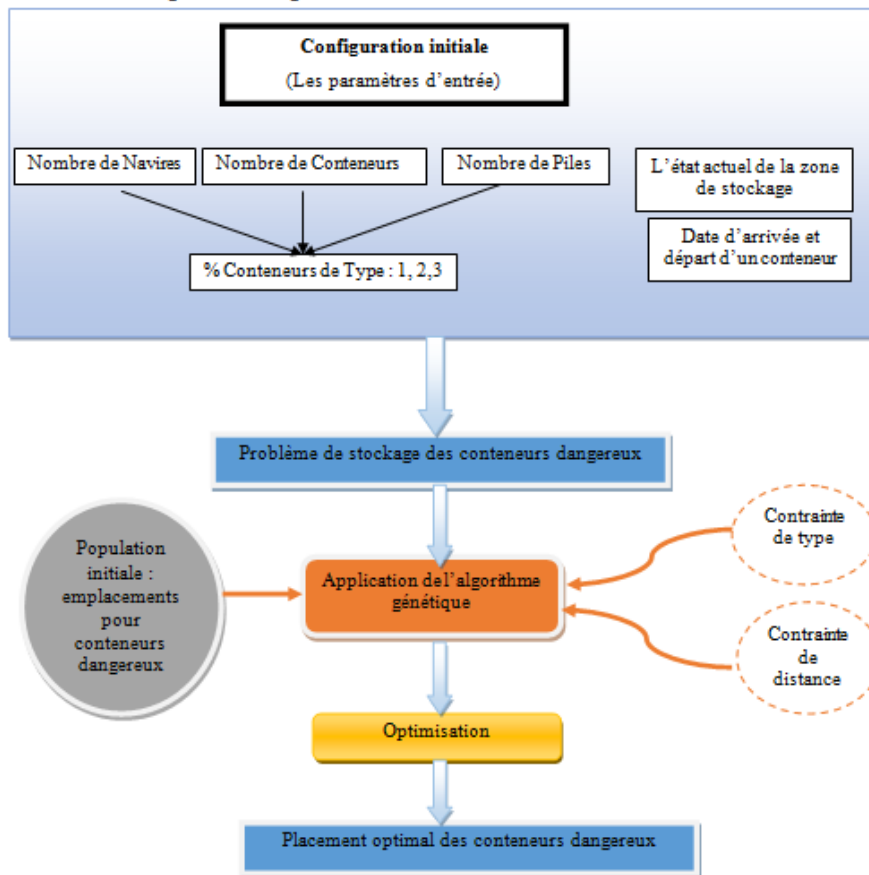


FIGURE 3.1 – Le modèle proposé

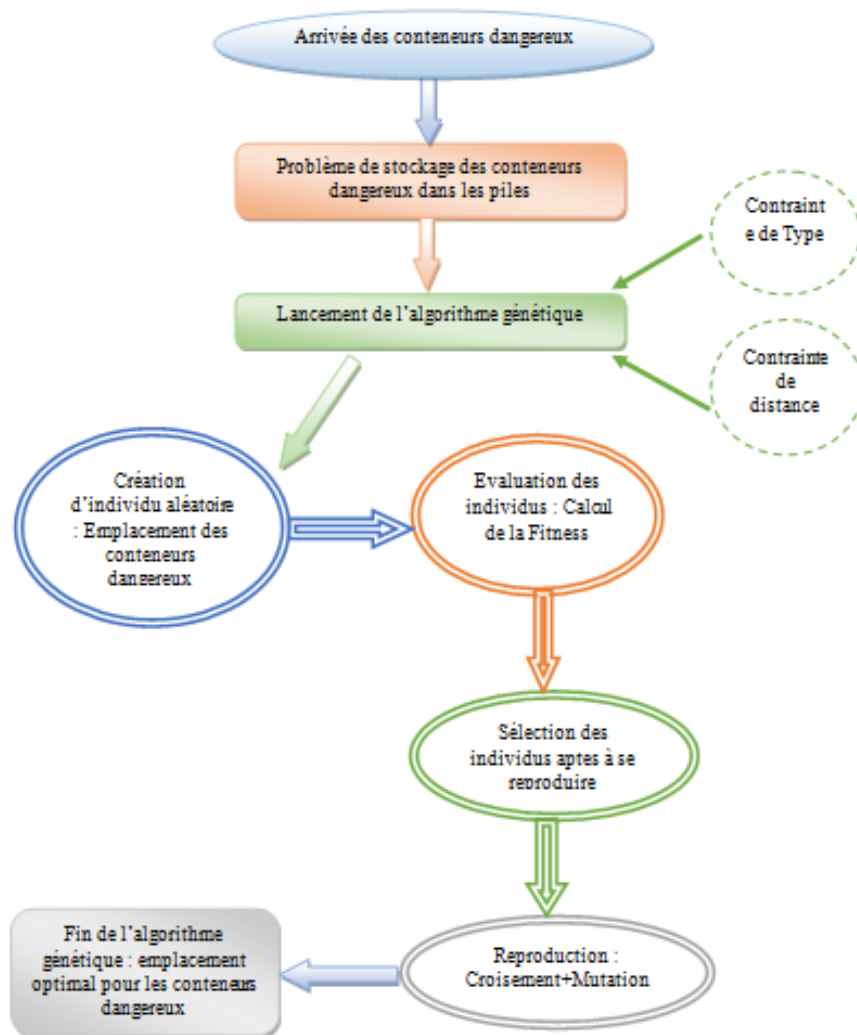


FIGURE 3.2 – Architecture fonctionnelle du système

Le diagramme de classes est considéré comme le plus important de la modélisation orientée objet, il est le seul obligatoire lors d'une telle modélisation. Il modélise les concepts du domaine d'application ainsi que les concepts internes créés de toutes pièces dans le cadre de l'implémentation d'une application. Chaque langage de Programmation orienté objet donne un moyen spécifique d'implémenter le paradigme objet (pointeurs ou pas, héritage multiple ou pas, etc.), mais le diagramme de classes permet de modéliser les classes du système et leurs relations indépendamment d'un langage de programmation particulier Net7.

La figure 3.3 illustre le diagramme de classe de notre application qui est constitué de six classes intitulées : Navire, Terminal, Conteneur, cour, Pile, Zone qui sont reliées par des liens de composition, par exemple le lien entre la classe Pile et la classe Conteneur (une pile peut contenir un ou plusieurs conteneurs, comme elle peut ne pas contenir).

Lorsque le navire chargé des conteneurs dangereux arrive au port reste en rade si les quais sont occupés par d'autres navires et en cas où il trouve le quai inoccupé il stationne pour décharger ses conteneurs dangereux. Les conteneurs dangereux vont être menés au zone de stockage qui est composée de la zone temporaire, zone de chargement et zone de déchargement afin de les stockés dans les piles.

### 3.4.2 Le diagramme de séquence

Le diagramme de séquences est la représentation graphique des interactions entre les acteurs et le système selon un ordre chronologique dans la formulation Unified Modeling Language Net6.

L'ordre d'envoi d'un message est déterminé par sa position sur l'axe vertical du diagramme; le temps s'écoule "de haut en bas" de cet axe Net5.

La figure 3.4 illustre le diagramme de séquence de notre application , Lorsque le gestionnaire des entreprises de gestion portuaire précise les paramètres d'entrée comme le nombre de navires, nombre de quais, nombres de conteneurs et nombre de piles et il affecte le nombre des conteneur aux piles on lance l'algorithme génétique et après une étape de traitement on aura le résultat obtenus par le système : la population initiale générée, la population sélectionnée, la population croisée, la population mutée, le meilleur individu et enfin l'obtention de la solution optimale qui est le but de notre approche.

## 3.5 LES DIFFÉRENTES STRATÉGIES DE STOCKAGE

Un des avantages de l'utilisation de conteneurs, est le fait qu'il soit possible de les superposer les uns sur les autres.

Cependant, cet atout a des limites, dans la mesure où il peut causer des remaniements. En effet, ce genre de manœuvre est surtout effectué lors de l'extraction des conteneurs qui sont aux fonds des piles. Par conséquent, il est capital, pour chaque terminal à conteneurs, d'adopter une stratégie de stockage adéquate. Les différentes méthodes de stockage qui existent dans la littérature peuvent être divisées en quatre catégories, qui sont détaillées ci-dessous.

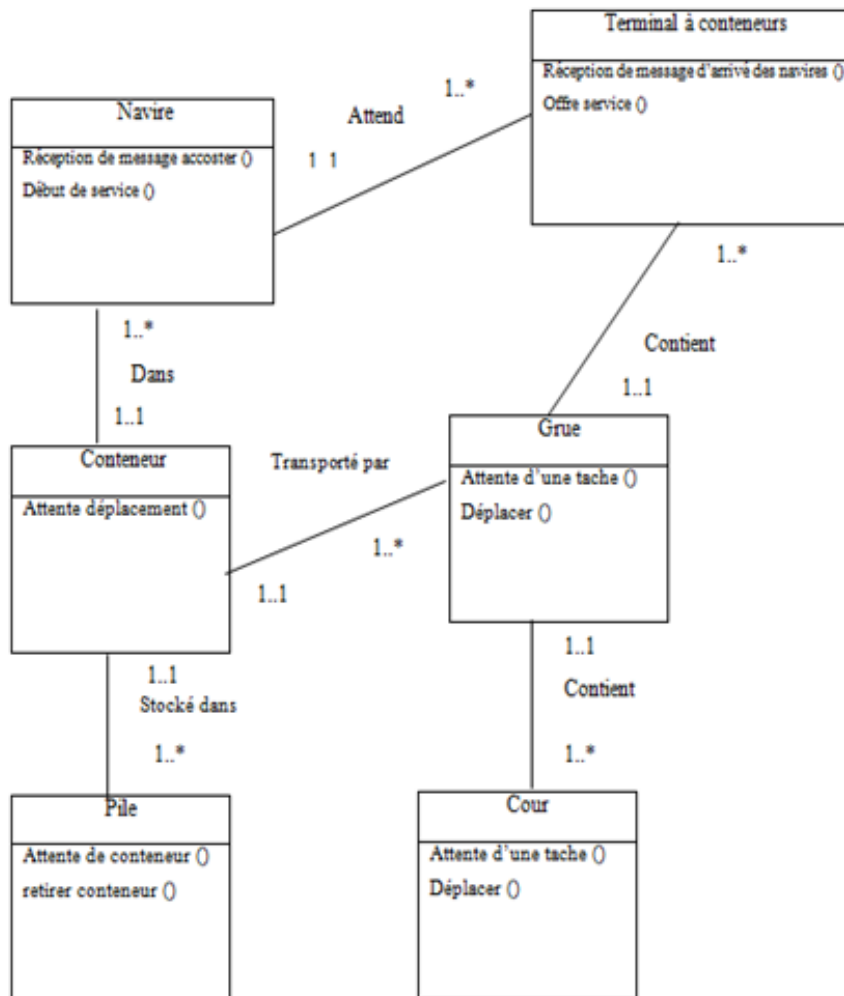


FIGURE 3.3 – Le diagramme de classe de notre système

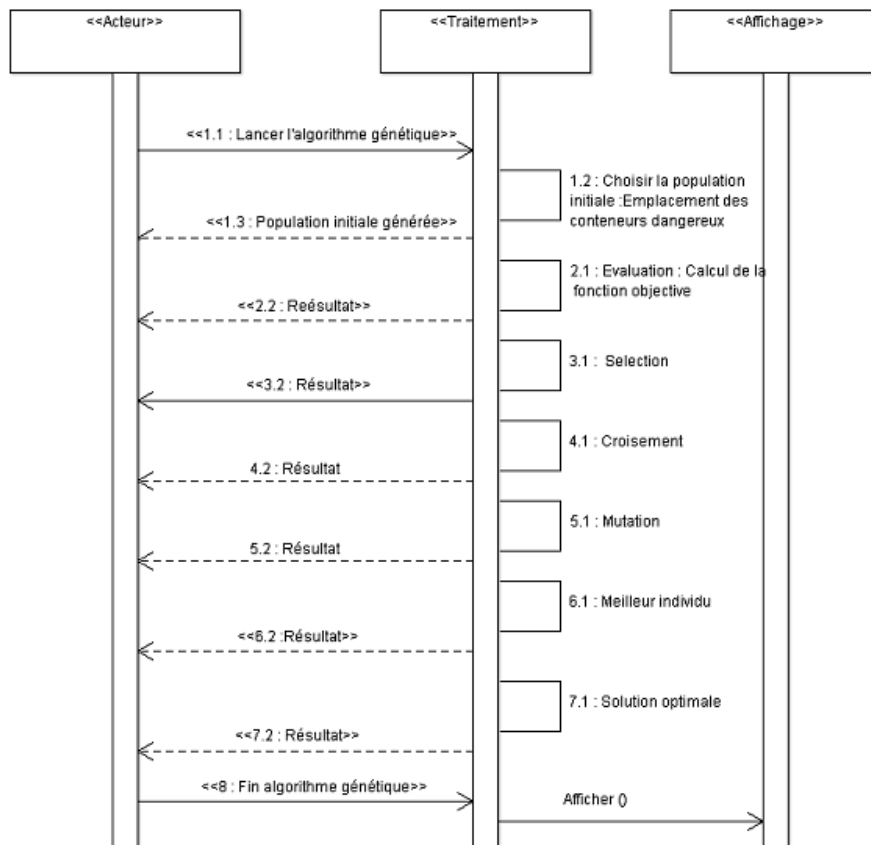


FIGURE 3.4 – Le diagramme de Séquence de notre système

### 3.5.1 Ségrégation et non ségrégation

Le stockage avec ségrégation suppose une séparation entre les conteneurs qui sont en exportation (c'est-à-dire les conteneurs sortants) et ceux qui sont en importation (c'est-à-dire les conteneurs entrants).

Les conteneurs qui sont destinés à l'exportation sont ceux qui arrivent au port étant chargés sur des camions ou bien sur des wagons, et qui vont quitter le port étant chargés sur des navires. Alors que les conteneurs importés sont amenés au port par des navires, et seront chargés sur des camions ou bien sur des wagons pour être acheminés vers leurs destinations finales.

Avec le stockage par ségrégation, les zones de stockage sont préalablement réparties pour déterminer les emplacements qui sont réservés aux conteneurs importés et ceux qui sont destinés aux conteneurs en exportation. Cette répartition peut être faite de trois manières Benmaghnia (2016).

- La première méthode consiste à réserver chaque bloc, soit aux conteneurs importés, soit aux conteneurs en exportation.
- La deuxième divise en deux parties les rangées de chaque bloc, de ce fait, chaque moitié est réservée à l'une des deux catégories de conteneurs.
- La troisième méthode est presque semblable à la deuxième. La seule différence est le fait que les divisions se font en considérant les travées.

La ségrégation peut même aller jusqu'à subdiviser l'espace réservé à



une catégorie de conteneur, par exemple en prédéfinissant la partie réservée à chaque navire.

Cette stratégie est surtout utilisée pour le stockage des conteneurs qui vont être chargés sur des navires Benmaghnia (2016).

Quant à la méthode de non-ségrégation, elle ne fait pas de distinction entre les catégories des conteneurs. Par conséquent, les conteneurs peuvent être superposés indépendamment de leurs destinations.

### 3.5.2 Groupage et dispersion

Avec la méthode de stockage par groupe, des emplacements (à ne pas confondre avec des piles qui, par définition, en contiennent plusieurs) adjacents sont attribués à chaque ensemble de conteneurs qui ont les mêmes spécificités (exemple : destination, dimension, contenu, frigorifié, vides, etc.).

Les conteneurs qui appartiennent à un même groupe sont supposés être interchangeables, et par conséquent, ils peuvent être superposés d'une manière quelconque sans se soucier de leurs dates de départ Benmaghnia (2016).

La méthode de stockage par groupe est surtout utilisée dans les terminaux à conteneurs qui utilisent des RTGCs ; car, pour économiser de la main d'œuvre, les conteneurs sont regroupés autant que possible afin de minimiser le nombre de grues de cour utilisées Benmaghnia (2016).

Deux méthodes de réservation d'emplacements de stockage existent pour cette stratégie.

- La première méthode appelée « unité pile », commence par réserver une pile vide pour chaque groupe de conteneurs, ensuite elle désigne une nouvelle pile vide à chaque fois que celle d'un groupe devient pleine.
- La deuxième méthode est nommée « unité travée » ; elle réserve, dès le début, toute une travée vide à chaque catégorie de conteneur. Et si la travée d'une catégorie devient pleine, elle réserve automatiquement une autre travée vide pour cette catégorie de conteneur. Contrairement à cette technique, la méthode du stockage dispersé n'essaie pas de regrouper les conteneurs. Ces derniers sont stockés indépendamment les uns des autres. Une illustration de cette méthode est le stockage aléatoire, qui suppose une équiprobabilité de choix entre les places qui sont compatibles à chaque conteneur Benmaghnia (2016).

Il peut être résumé comme suit.

1. Choisir aléatoirement une rangée.
2. Choisir un emplacement quelconque dans cette rangée.
3. Tester s'il est possible d'y placer le conteneur.
4. Si oui, alors effectuer le stockage.
5. Si non, alors recommencer avec la rangée suivante

### 3.5.3 Stockage direct et stockage indirect

Dans la plupart des terminaux portuaires, les conteneurs sont directement placés dans la cour de stockage, où ils vont rester jusqu'à leurs

départs. Par contre, dans le cas du stockage indirect, les conteneurs sont d'abord placés dans une zone d'agencement avant d'être transférés dans la cour de stockage.

L'objectif de ce procédé est de diminuer les temps d'attente des camions externes qui apportent des conteneurs, et aussi d'accélérer les activités des grues de cour en séparant les périodes de stockage et les périodes de retrait. Ainsi, les transferts de conteneurs de la zone d'agencement vers la cour de stockage se font pendant les temps libres des grues de cour.

Ce type de procédé est surtout utile pour les ports qui ne disposent pas de toutes les informations concernant les conteneurs à leurs arrivées. De ce fait, les conteneurs sont temporairement mis dans la zone d'agencement, en attendant de récolter toutes les informations qui sont nécessaires pour désigner leurs emplacements dans la zone de stockage finale. Ces informations peuvent être : des dates de départ, des modes de transport (routier ou ferroviaire, dans le cas d'un terminal à conteneurs multimodal), etc.

#### 3.5.4 Priorité aux déchargement et priorité aux déchargement

Les méthodes de stockage qui priorisent les déchargements de conteneurs cherchent à maximiser les performances de toutes les activités liées aux opérations de stockage.

La méthode de stockage par niveau en est une illustration. Elle stocke les conteneurs par couche, de telle sorte que tous les emplacements au sol soient occupés, avant de superposer les conteneurs. Cette stratégie fut proposée par Benmagnia (2016). Elle est intuitive mais n'utilise pas la plupart des informations disponibles. Elle contient principalement quatre étapes, qui se succèdent comme suit :

1. Prendre une rangée quelconque qui a au moins un emplacement libre.
2. Chercher, dans cette rangée, un emplacement libre et adéquat qui est au contact du sol.
3. S'il est trouvé : y stocker le conteneur.
4. S'il n'est pas trouvé : chercher, dans la rangée, un emplacement libre et adéquat qui appartient au niveau le plus bas possible.

Avec le stockage par niveau, le risque de remaniement est moins important qu'avec la méthode aléatoire. Le nivellement ne se fait donc pas par rapport au sol mais plutôt par rapport aux dates de départ. Avec cette méthode, la recherche d'un emplacement de stockage pour un conteneur se fait en trois étapes qui se succèdent comme suit :

1. D'abord on cherche parmi les piles qui ne sont ni pleines, ni vides, celles qui ont, à leurs sommets, des conteneurs qui ont des dates de départ supérieures à celle du conteneur que l'on veut stocker. Si on en trouve, on calcule, pour chacune d'elles, la différence entre la date de départ du conteneur qui est à son sommet et celle du conteneur que l'on cherche à stocker. Ensuite on sélectionne la pile qui conduit à la plus petite différence.

2. Si de telles piles n'existent pas, alors on choisit parmi les piles vides, celle qui est plus proche de la sortie par laquelle le conteneur sera livré.
3. Si on n'a pas trouvé de pile qui appartient aux deux premiers cas, alors on stocke le conteneur dans la pile la plus haute parmi celles qui ne sont pas pleines ; afin de minimiser les futurs remaniements.

Cette méthode est plus efficace que le stockage aléatoire et le stockage par niveau, car le risque d'avoir des remaniements est nettement moins élevé.

## 3.6 APPROCHE PROPOSÉE

Parmi les méthodes d'optimisation nous avons choisi d'implémenter l'algorithme génétique par rapport à la problématique qu'on étudie et qui consiste à optimiser l'emplacement des conteneurs dangereux dans les piles en prenant en considération deux contraintes :

1. Contrainte de distance : la distance entre deux conteneurs doit être égale à cinq mètres pour minimiser les risques par exemple le risque d'incendie ou le risque d'inflammation.
2. Contrainte de type (classe) : chaque type de conteneur doit être stocké dans la pile de même type.

### 3.6.1 Présentation de l'algorithme génétique

Un algorithme génétique (AG) est une méta heuristique qui manipule une population de solutions potentielles à la fois. Le mode de fonctionnement d'un AG est calqué sur les principes biologiques de la sélection naturelle et de la survie des individus les mieux adaptés à l'environnement (théorie de Darwin)(voir figure3.5).

La sélection naturelle est basée sur l'idée que les modifications des générations successives sont orientées par les pressions extérieures aux quelles sont soumises les espèces, exemple : la limitation des ressources, les modifications de l'environnement, les prédateurs et parasites, etc.) .

Il en résulte que les individus les mieux adaptés à l'environnement tendent à survivre plus longtemps et à se reproduire plus fréquemment. S'inspirant ainsi de ce mécanisme, Holland a posé les bases de la technique d'optimisation appelée « Algorithme génétique ».

Mais c'est Goldberg qui, par la suite s'est investi dans l'étude d'AG et a développé la forme actuelle que nous connaissons Jean (2010).

Le vocabulaire employé par les AG est directement calqué sur celui de la théorie de l'évolution et de la génétique. Ainsi les termes comme : individu, population, gène, chromosome, parent, enfant, reproduction, croisement et mutation sont utilisés. Dans le vocabulaire des AG l'environnement se rapporte à l'espace de recherche qui définit l'ensemble des configurations possibles des paramètres de la fonction à optimiser.

Un individu dans cet environnement est une configuration possible des paramètres .Un ensemble d'individus forme une population. Chaque individu peut être représenté par un chromosome qui est composé d'une chaîne de gènes contenant les caractéristiques génétiques de cet individu.

Le gène étant la partie élémentaire d'un chromosome représente un trait de caractère ou une fonction particulière. La capacité d'adaptation d'un individu à l'environnement est matérialisé par la mesure de la performance de l'individu à travers la fonction à optimiser(ou fonction d'adaptation ou fitness)Jean (2010).

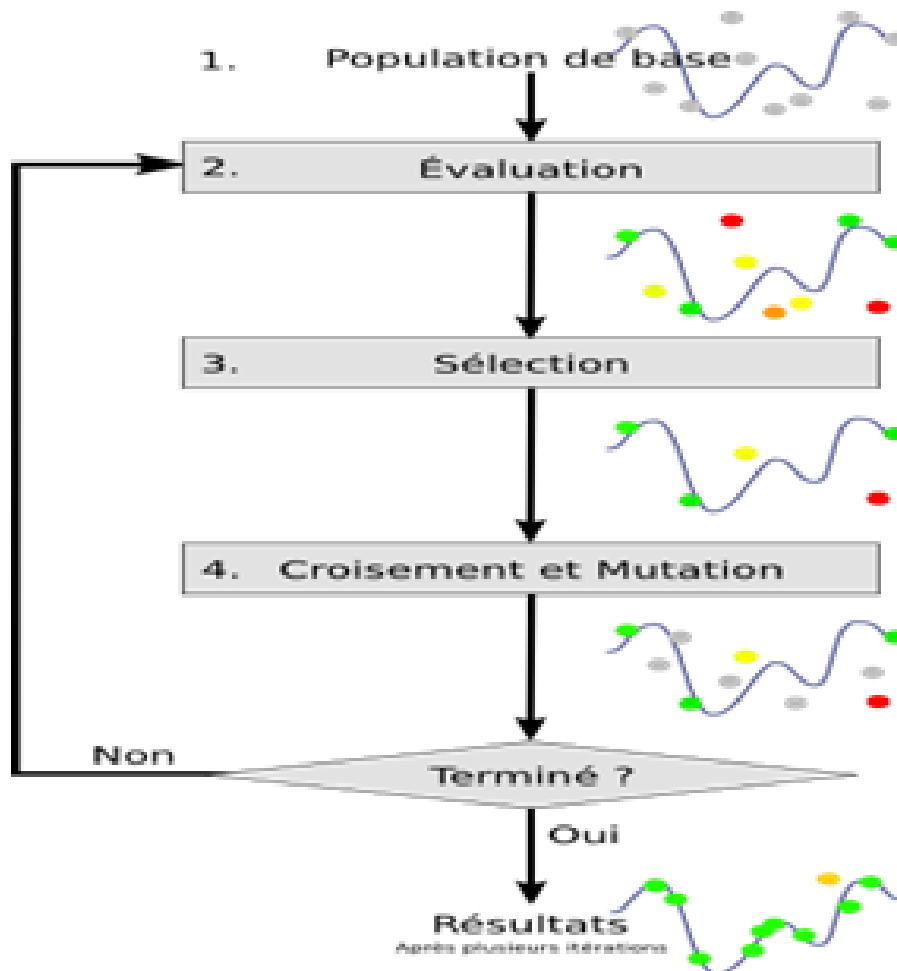


FIGURE 3.5 – Les étapes de l'algorithme génétique

### 3.6.2 Le fonctionnement de l'algorithme génétique

Les algorithmes génétiques ont la particularité de s'inspirer de l'évolution des espèces dans leur cadre naturel .Les espèces s'adaptent à leur cadre de vie qui peut évoluer, les individus de chaque espèce se reproduisent, créant ainsi de nouveaux individus, certains subissent des modifications de leur ADN, certains disparaissent ....

Un algorithme génétique va reproduire ce modèle d'évolution dans le but de trouver des solutions pour un problème donné.

Avant de commencer on va présenter une analogie entre les termes spécifiques à l'algorithme génétique et notre exemple :

- Dans notre cas, une population sera un ensemble d'individus.
- Un individu sera une solution à un problème donné : des emplacements des conteneurs dangereux dans les piles.

- Un gène sera une partie d'une solution, donc d'un individu : un emplacement d'un conteneur dans une pile.
- Une génération est une itération de notre algorithme.

La figure 3.6 illustre le fonctionnement de l'algorithme génétique :

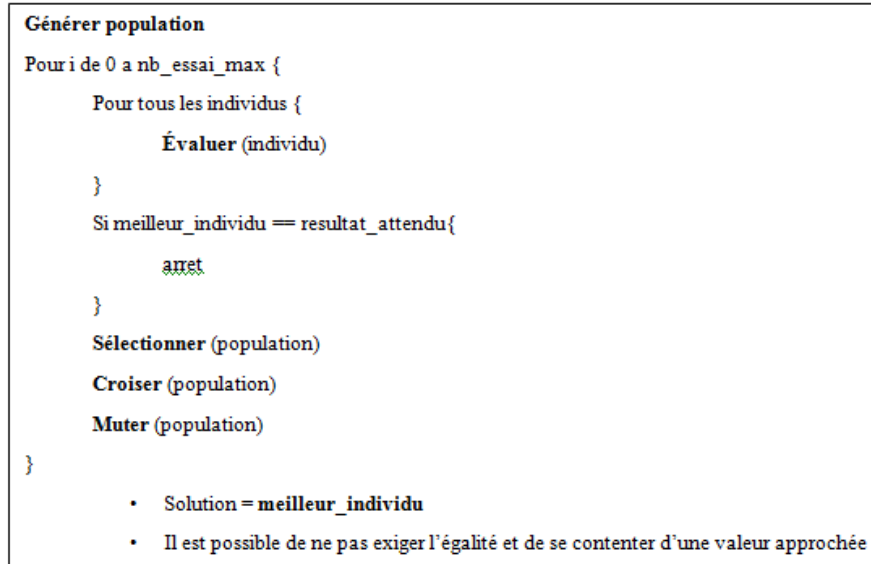


FIGURE 3.6 – Algorithme génétique Ivan (2000)

### 3.6.3 Description de l'algorithme génétique

L'algorithme génétique est composé de six étapes :

#### Génération de la population initiale

Cette étape consiste à générer la population initiale de l'algorithme génétique. La population initiale doit contenir des chromosomes qui soient bien répartis dans l'espace des solutions pour fournir à l'algorithme génétique un matériel génétique varié. La façon la plus simple est de générer aléatoirement les chromosomes Net04.

La population initiale dans notre approche est les emplacements des conteneurs dangereux dans les piles.

#### Évaluation des individus Description de l'algorithme génétique

Une fois que la population initiale a été créée, nous allons en sortir les individus les plus prometteurs, ceux qui vont participer à l'amélioration de notre population. Nous allons donc attribuer une 'note' ou un indice de qualité à chacun de nos individus. La méthode d'évaluation des individus est laissée au programmeur en fonction du problème qu'il a à optimiser ou à résoudre.

L'étape d'évaluation des individus peut être effectuée avant et/ou après les étapes de croisement et de mutations. Une fois encore, le programmeur est libre d'implémenter cette méthode Net05.

Cette méthode est calculée dans notre approche comme suit :

$$Fit = \sum_{c=1}^n (P); \quad (3.1)$$

$$P = \frac{Degrdsdedangerosit * Tauxd'infection}{100} \quad (3.2)$$

Où :

P : la probabilité.

l : le premier conteneur stocké dans les piles.

n : le dernier conteneur stockés dans les piles.

On calcule cette fonction dans le cas ou notre conteneur est bien placé (l'emplacement généré dans la population initiale pour chaque conteneur qui est stocké dans les piles est équivalent a l'emplacement déclaré au début) sinon on calcule la pénalité (dans le cas contraire).

### La sélection des individus

La sélection tend à augmenter l'importance des bonnes solutions par rapport aux mauvaises. C'est une heuristique utilisée par l'algorithme génétique : les bonnes solutions sont supposées être les plus prometteuses pour la génération de descendants.

Il existe plusieurs méthodes de sélection. Les plus connues sont La méthode de la "loterie biaisée" (roulette wheel) de Goldberg , La méthode "élitiste" et la méthode "en tournoi" Neto4.

Nous avons utilisé dans notre approche la méthode élitiste qui consiste à sélectionner les n individus dont on a besoin pour la nouvelle génération P' en prenant les n meilleurs individus de la population P après l'avoir triée de manière décroissante selon la fitness de ses individus.

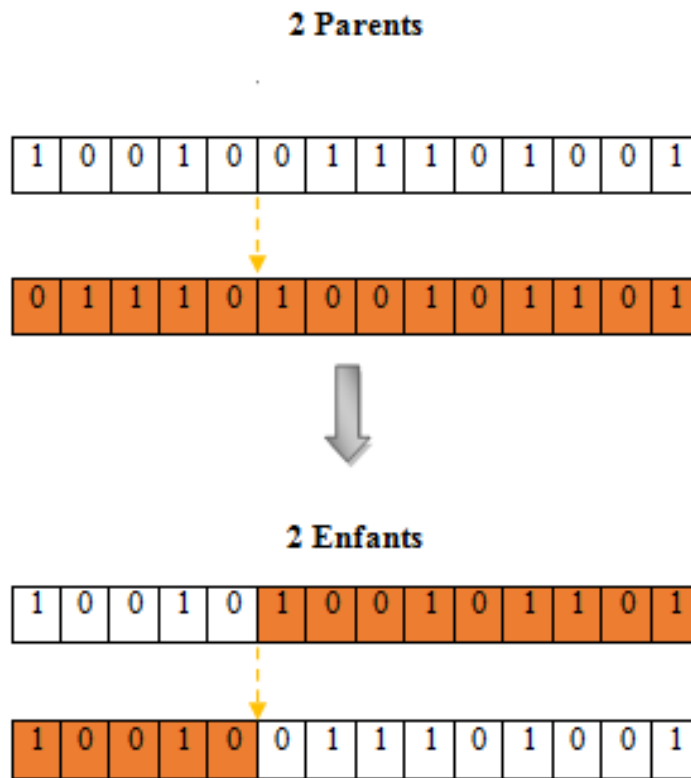
### Le croisement des individus

Le croisement consiste à copier et recombinaison des gènes de deux individus parents de façon à former deux nouveaux individus fils possédant des caractéristiques issues des deux parents(Voir figure3.7).

Il existe différents types de croisement, nous allons brièvement présenter les trois principaux :

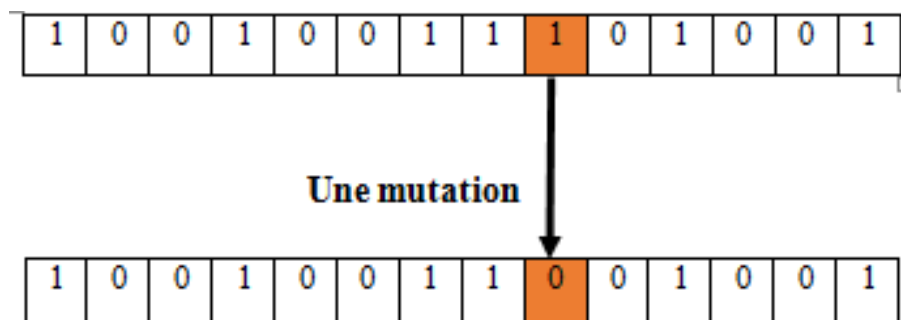
1. Le croisement un point détermine aléatoirement un point de coupure et échange la deuxième partie des deux parents.
2. Le croisement deux points (qui peut être étendu à points) possède 2 points (ou) de coupures qui sont déterminés aléatoirement.
3. Enfin le crossover uniforme échange chaque bit avec une probabilité fixé à  $\frac{1}{2}$  Neto4.

Le crossover utilisé dans notre approche est le croisement avec un point de crossover qui consiste à choisir au hasard un point de coupure identique sur les deux individus et on échange les fragments situés après le point de coupure pour donner les deux nouveaux individus.

FIGURE 3.7 – Croisement avec un point de crossover *Neto3*

### La mutation

Traditionnellement, la mutation est appliquée aux enfants avec une probabilité faible comprise entre 0.01 et 0.1 pour empêcher une convergence locale de l'algorithme génétique, c'est-à-dire pour éviter que l'algorithme converge vers un minimum local. La mutation consiste à tirer au sort une probabilité notée  $P_{mut}$  pour chaque gène qui constitue le chromosome *Neto2* (Voir figure 3.8).

FIGURE 3.8 – Étape de mutation *Neto3*

Dans notre approche la mutation consiste à changer deux emplacements de conteneurs dangereux qui appartiennent au même individu.

### Réitération du processus

Le programmeur a l'opportunité d'évaluer les individus de sa population avant et/ou après les phases de création d'individus. En effet, il peut s'avérer pertinent de les évaluer avant de les insérer dans la future population, de même qu'il peut être utile de les réévaluer au début de la génération suivante, si par exemple la méthode d'évaluation dépend de la taille de la population (qui a très bien pu changer). Ainsi on peut être amené à évaluer deux fois par génération chacun des individus. Le nombre de génération est aussi laissé à l'appréciation du programmeur.

Généralement il n'est pas possible de trouver des solutions convenables en moins de 10 générations et au bout de 500 générations, les solutions n'évoluent plus. Mais ceci n'est qu'un ordre de grandeur, tout dépend du problème à résoudre.

Une fois le nombre maximum de générations atteint, vous obtenez une population de solutions. Mais rien ne vous dit que la solution théorique optimale aura été trouvée. Les solutions se rapprochent des bonnes solutions, mais sans plus. Ce n'est pas une méthode exacte.

#### 3.6.4 Critère de convergence

Il n'existe malheureusement pas de critères d'arrêt de type déterministe pour des méthodes stochastiques. Certains auteurs utilisent souvent des critères basés sur leur expertise (nombre maximal d'itérations).

Malheureusement, ce type de critère est purement fictif et peut donner de très mauvais résultats en fonction de la population initiale et de la vitesse ou l'algorithme génétique va explorer l'espace.

Les critères proposés dans la littérature sont :

1. Nombre maximal de générations (itération).
2. temps écoulé.
3. le meilleur individu de la dernière génération atteint un seuil critique (meilleur).

Dans notre approche l'algorithme converge après un nombre maximal de générations (Nombre d'itérations), lorsque les solutions optimales générées sont stables.

#### 3.6.5 Les avantages de l'algorithme génétique dans le cadre de notre problématique

Dans cette section nous citons les avantages des algorithmes génétiques.

- Obtention d'une solution approchée, en un temps correct, à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas ou qu'on ne connaît pas de méthode exacte pour le résoudre en un temps raisonnable.
- Un algorithme génétique nous donne une grande liberté dans le paramétrage et dans l'implémentation des différents traitements. Libre à nous ensuite de modifier tel ou tel paramètre si les solutions obtenues ne nous conviennent pas.



### 3.6.6 Les inconvénients de l'algorithme génétique dans le cadre de notre problématique

Parmi les difficultés trouvées dans l'utilisation des algorithmes génétiques dans notre approche nous citons :

- Paramètres difficiles à fixer (taille population, le pourcentage de mutation).
- Choix de la fonction d'évaluation délicat.
- Pas assuré que la solution trouvée est la meilleure, mais juste une approximation de la solution optimale.

## 3.7 CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre la solution de notre problématique qui est le stockage des conteneurs dangereux dans un port en se basant sur les algorithmes génétiques qui nous permettent d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation.

En premier lieu nous avons proposé un modèle fonctionnel de notre problématique, en suite nous avons modélisé ce modèle sous forme des diagrammes UML : diagramme de classe et diagramme de séquence et enfin nous avons décrit les avantages et les inconvénients des algorithmes génétiques dans le cadre de notre problématique.

Le chapitre suivant sera consacré à la mise en oeuvre de notre application.



# L'IMPLEMENTATION DE L'APPROCHE

# 4

**D**ANS ce chapitre, nous présentons la partie mise en œuvre de notre contribution, avec un scénario d'exécution détaillé. ...



## 4.1 INTRODUCTION

L'objectif de la phase d'implémentation est d'aboutir à un produit final, exploitable par les utilisateurs. En premier lieu, nous présenterons les outils de développement d'où nous spécifierons l'environnement de travail et le langage de programmation utilisé, quant à la deuxième partie nous décrirons notre application par la présentation des scénarios les plus généraux de notre application illustrés par des captures d'écrans.

## 4.2 OUTILS DE DÉVELOPPEMENT

Dans cette section nous présentons les outils de développement utilisés pour implémenter notre approche.

### 4.2.1 L'environnement de travail

Nous avons choisi pour développer notre logiciel l'environnement NetBeans version 8.0.2 (figure 4.1) qui est un environnement de développement intégré (EDI), placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL (Common Development and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme C, C++, JavaScript, XML, Groovy, PHP et HTML de façon native ainsi que bien d'autres (comme Python ou Ruby) par l'ajout de greffons. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web) [Neto1](#).

Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Un environnement Java Development Kit JDK est requis pour les développements en Java.

NetBeans constitue par ailleurs une plate forme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plate forme [Neto1](#).

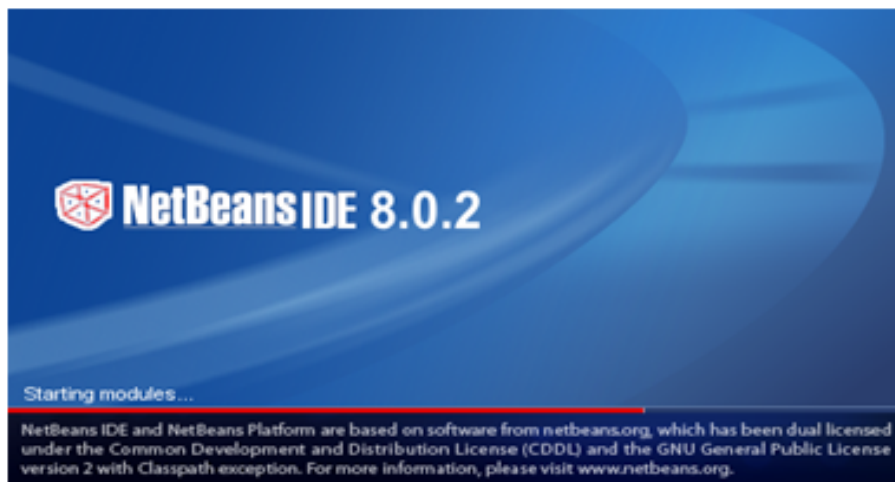


FIGURE 4.1 – *Netbeans*

## 4.2.2 Le langage de programmation

Nous avons choisi pour développer notre logiciel le langage Java qui est un langage de programmation informatique orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems, avec le soutien de Bill Joy (cofondateur de Sun Microsystems en 1982), présenté officiellement le 23 mai 1995 au SunWorld.

La société Sun a été ensuite rachetée en 2009 par la société Oracle qui détient et maintient désormais Java.

La particularité et l'objectif central de Java est que les logiciels écrits dans ce langage doivent être très facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que UNIX, Windows, Mac OS ou GNU/Linux, avec peu ou pas de modifications (figure 4.2). Pour cela, divers plateformes et frameworks associés visent à guider, sinon garantir, cette portabilité des applications développées en Java Netoo.

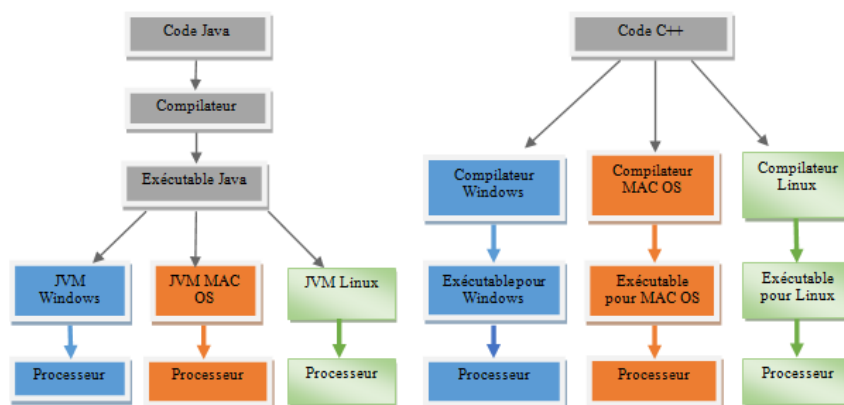


FIGURE 4.2 – Comparaison entre le fonctionnement d'un programme Java et un programme écrit en c++ Net15

## 4.3 DESCRIPTION DE LOGICIEL

Dans cette section nous décrivons le fonctionnement de notre logiciel à travers un exemple de déroulement détaillé.

### 4.3.1 Lancement de l'application

A l'aide d'une interface d'accueil, l'utilisateur peut accéder à la fenêtre principale via l'onglet « Entrer » qui nous permet d'entrer à l'interface principale (figure 4.3) et l'onglet « Quitter » pour quitter l'application.

### 4.3.2 Présentation de l'interface principale de l'application

L'interface principale illustrée par (figure 4.4) comporte un menu standard et une barre d'outils.

La barre d'outils propose les fonctionnalités suivantes :

1. Fichier : il contient deux items :

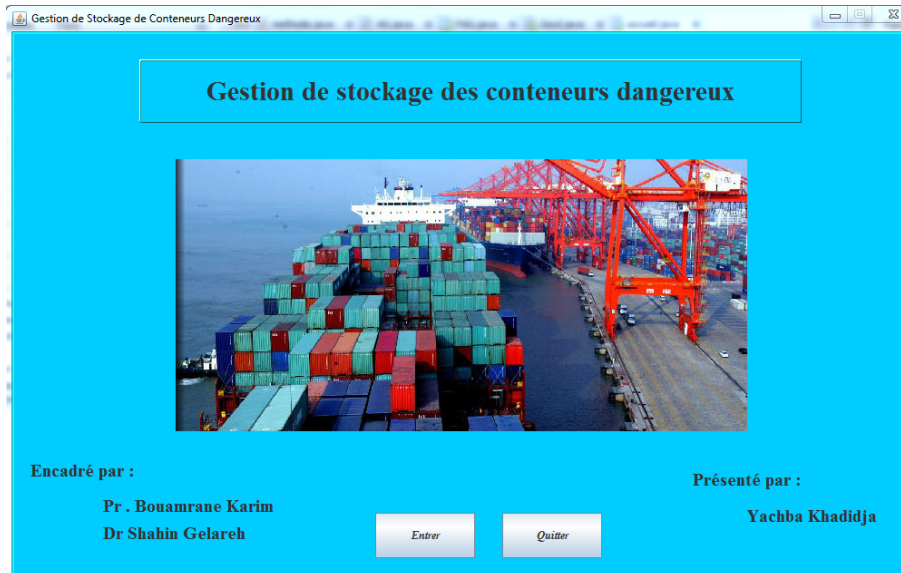


FIGURE 4.3 – La page d'accueil

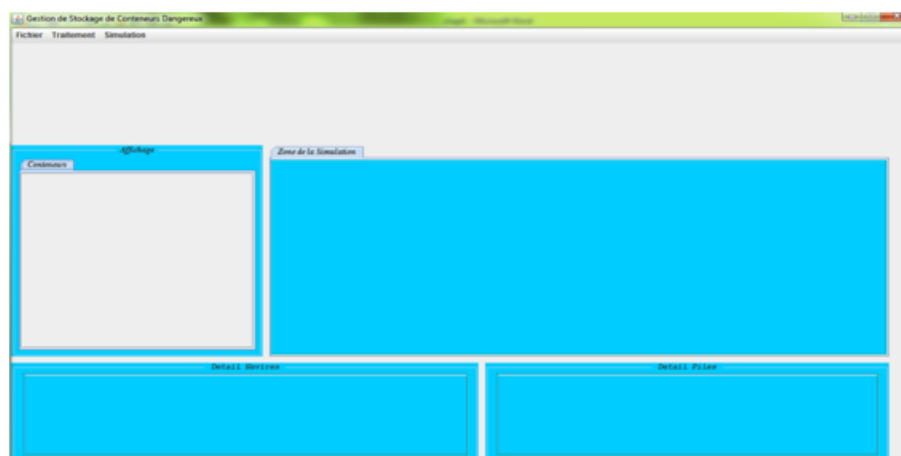


FIGURE 4.4 – Interface principale

- Nouveau : cet item permet à l'utilisateur d'entrer le nombre de navires, Quais, piles et conteneurs et de fixer le type des piles et des conteneurs, aussi d'affecter les piles aux zones : Temporaires, Chargement et Déchargement et de fixer le nombre des conteneurs qui seront stockés dans les navires et le nombre de conteneurs qui seront stockés dans les piles (figure4.5). Lorsqu'on bouge le slider



FIGURE 4.5 – Les paramètres d'entrée

qui est entre « Navire » et « Piles » on obtient les figures suivantes (figure 4.6),(figure4.7) :

(a) Affichage

*Affichage*

Conteneurs				
Id. Cont.	Categorie	Affectation	Niv. Dang.	Taux. inf. ...
1	C1	Navire1	5	19.8
2	C1	Navire1	5	20.0
3	C1	Navire1	8	45.83
4	C1	Navire4	8	47.14
5	C1	Navire1	3	10.95
6	C1	Navire4	7	63.7600000...
7	C1	Navire4	6	50.5
8	C1	Navire3	6	10.73
9	C1	Navire1	1	51.6
10	C1	Navire2	1	46.4
11	C1	Navire2	7	20.93
12	C1	Navire3	6	42.9100000...
13	C1	Navire2	6	28.7400000...
14	C1	Navire3	3	44.1
15	C1	Navire1	5	34.2300000...
16	C1	Navire1	3	22.2299999...
17	C1	Navire4	3	73.1
18	C1	Navire1	7	31.95
19	C1	Navire4	4	11.3199999...
20	C1	Navire4	2	90.6000000...
21	C1	Navire1	2	94.1

FIGURE 4.6 – Détail des conteneurs

Cette figure(figure 4.6) contient les Identificateurs des conte-



neurs avec leurs Catégories, Affectation (Navire ou Pile), Niveau de dangerosité (de la classe 0 à la classe 8) et le taux d'infection. Cette figure (figure 4.6) nous permet par la suite de calculer la fonction d'évaluation (Fitness).

(b) Détail navires

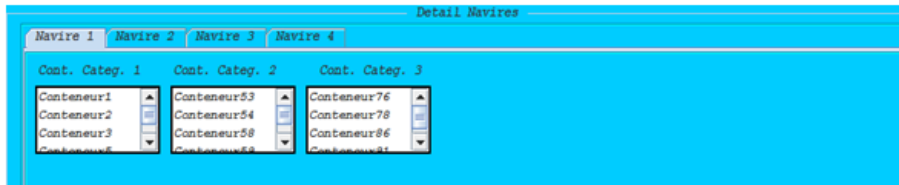


FIGURE 4.7 – Détail des navires

Cette figure (figure 4.7) nous décrit le contenu de chaque Navire (conteneurs contenus avec leurs catégories).

(c) Détail piles

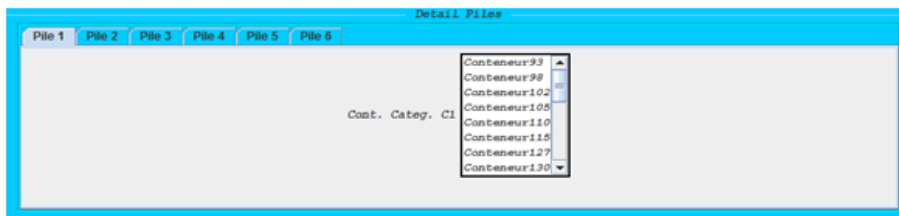


FIGURE 4.8 – Détail des piles

Cette figure (figure 4.8) nous décrit le contenu de chaque Pile (conteneurs contenus avec leurs catégories).

- Quitter : permet de quitter le logiciel.
- 2. Traitement : permet de lancer l'algorithme génétique en cliquant sur le bouton « Algo.Génétique » (figure 4.9).

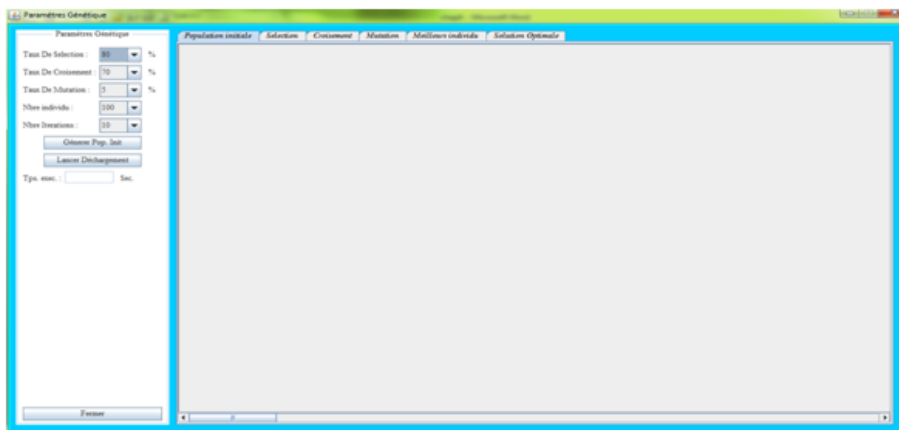


FIGURE 4.9 – Lancement de l'algorithme génétique

- 3. Simulation : Permet de lancer la simulation en cliquant sur le bouton « Lancer ». La simulation (figure 4.10) nous permet de visualiser le résultat obtenu par l'implémentation de l'algorithme génétique en commençant par un état initial (les piles vides) arrivant à un état final (conteneurs dangereux stockés dans les piles), avec un journal d'événement qui affiche la succession des événements.

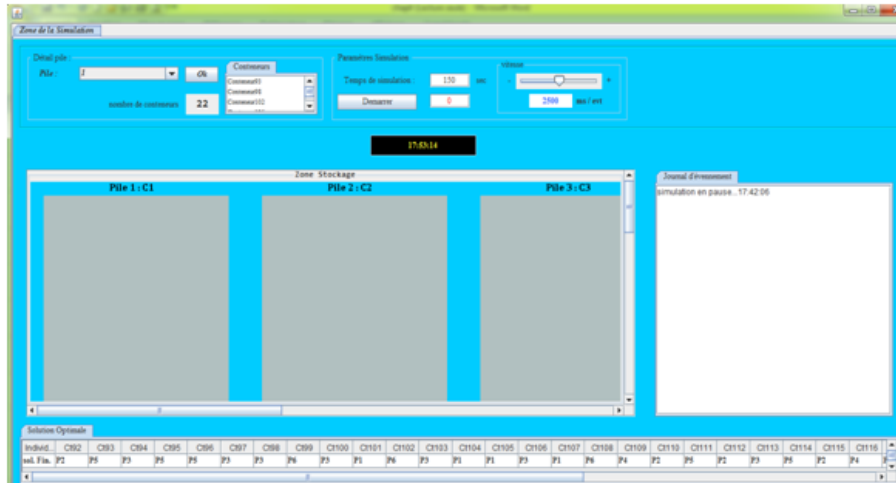


FIGURE 4.10 – Lancement de la simulation

TABLE 4.1 – &lt;Paramètres d'algorithmme génétique&gt;

Taux de Sélection	80 Pourcent
Taux de croisement	70 Pourcent
Taux de Mutation	5 Pourcent
Nombre d'individus	100
Nombre d'itérations	10

### Lancement de l'algorithmme génétique

Dans cette phase nous sélectionnons les paramètres de l'algorithmme génétique (Tableau 4.1) qui doivent être fixés avant l'exécution de l'algorithmme parce qu'ils ont une importance marquée dans la résolution du problème.

1. Taux de sélection Le taux de sélection indique le taux des individus sélectionnés à partir de la population initiale, si le taux de sélection est de 100 pour cent alors toute la population est sélectionnée, et si elle est de 0 pour cent la nouvelle génération est la copie exacte des individus de l'ancienne population.

Dans notre exemple on le fixe à 0.8 parce que le taux optimale se varie entre 0.8 et 0.9.

2. Taux de croisement Le taux de croisement indique le taux de participation à la reproduction, soit la proportion de la population qui se reproduit par croisement. Si le taux de croisement est de 100 pour cent, alors toute la population participe au croisement. Par contre, si elle est de 0 pour cent, la nouvelle génération au complet est la copie exacte des individus de l'ancienne population .

Dans notre exemple on le fixe à 0.7 parce que le taux optimal se varie entre 0.25 et 0.7.

3. Taux de mutation Le taux de mutation indique le taux que chaque gène de chaque individu subisse une mutation lors d'une phase de reproduction. Si le taux de mutation est de 0 pour cent, les individus qui sont produits juste après le croisement ne comportent aucun

changement. Par contre, si la probabilité de mutation est de 100 pour cent, tout le chromosome de l'individu est changé .

Dans notre exemple on le fixe à 0.1 parce que le taux se varie entre 0.01 et 0.1 pour éviter que l'algorithme converge vers un minimum local.

4. Nombre d'individus de la population Ce paramètre vise à fixer le nombre d'individus dans la population et ce pour toute la durée de l'exécution de l'algorithme. La taille de la population ne doit pas être trop grande car après une certaine limite la performance de l'algorithme diminue. En effet un nombre d'individus trop élevé affecte la rapidité de la résolution du problème .

Dans notre exemple on le fixe à 100 individus parce que la taille optimale se situe entre 25 et 100.

5. Nombre d'itérations C'est un nombre qui limite le nombre d'évolutions de la population générée par l'algorithme. La recherche est ainsi arrêtée après un certain nombre de générations .

Dans notre exemple on le fixe à 10 itérations. Parce que le nombre optimal des itérations doit être entre 10 et 500 itérations.

Puis on clique sur le bouton générer population initiale afin de créer la population initiale(figure 4.11).



FIGURE 4.11 – Bouton « Générer population initiale »

On obtient par la suite la création de notre population initiale qui est l'emplacement des conteneurs dangereux dans les piles, voir (figure 4.12). Ce tableau est constitué horizontalement de :

Individus	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C100	C101	C102	C103	C104	C105	C106	C107	
Ind01	02	05	03	01	05	09	05	06	03	01	06	03	01	01	03	01	06
Ind02	02	06	01	02	01	01	02	01	02	01	06	01	02	01	06	01	01
Ind03	03	03	04	01	02	03	01	04	01	06	01	05	03	03	06	01	04
Ind04	04	02	02	01	05	02	04	06	02	03	03	02	05	02	03	02	06
Ind05	02	04	01	06	02	01	01	03	01	06	01	03	05	03	02	02	01
Ind06	02	01	01	01	03	03	04	03	03	04	02	02	05	04	06	04	03
Ind07	02	06	02	04	04	03	03	06	02	05	06	02	02	05	03	06	06
Ind08	03	05	06	02	05	01	05	06	01	04	06	05	04	02	01	03	05
Ind09	06	01	03	03	01	06	02	03	03	04	05	04	04	06	03	05	05
Ind10	03	04	02	04	02	04	03	05	04	01	03	04	03	05	01	02	02
Ind11	04	06	04	01	04	01	01	04	06	03	06	02	02	04	06	04	03
Ind12	06	02	03	01	06	03	01	06	06	04	02	05	01	01	01	06	02
Ind13	01	01	04	04	04	02	05	02	04	06	06	02	05	04	01	02	05
Ind14	03	06	04	03	04	02	04	06	06	04	01	06	05	03	01	03	03
Ind15	03	02	01	03	01	03	06	02	02	01	04	03	06	01	03	06	04
Ind16	04	02	01	03	05	04	03	06	05	04	01	02	01	04	03	04	01
Ind17	04	05	03	05	04	02	03	01	04	03	06	02	06	04	05	04	03
Ind18	01	03	02	04	03	03	02	01	01	01	01	04	06	01	05	03	02
Ind19	05	02	05	05	02	05	01	03	03	01	04	01	01	06	06	04	01
Ind20	03	01	05	02	02	06	01	05	01	04	02	03	06	01	04	04	02
Ind21	03	02	02	06	01	04	04	01	04	04	04	01	02	06	01	06	06
Ind22	01	05	01	03	03	01	03	06	01	01	05	04	02	05	04	02	04
Ind23	02	02	03	06	06	02	02	04	02	06	05	06	01	06	04	03	03
Ind24	03	03	04	03	05	06	02	03	04	03	02	02	02	02	03	06	04
Ind25	04	01	01	05	04	01	03	06	02	01	02	05	01	01	01	01	02
Ind26	01	04	01	06	06	02	03	04	04	04	04	06	06	02	02	02	04
Ind27	06	02	06	06	04	04	06	05	03	06	01	03	04	02	02	05	04
Ind28	04	01	04	04	03	04	04	06	05	05	06	05	03	01	01	05	03
Ind29	01	02	01	03	02	05	06	04	06	02	06	02	06	05	02	03	02
Ind30	03	01	02	05	04	02	01	02	02	03	03	01	03	01	06	05	04

FIGURE 4.12 – Génération de la population initiale

- L'ensemble des individus qui forment une population initiale qui est les emplacement des conteneurs dangereux dans les piles. Et verticalement de :

- L'ensemble des conteneurs qui vont être stockés dans les piles.
- La fitness : c'est la fonction d'évaluation qui va permettre de sélectionner ou de refuser un individu pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante (figure 4.13) (figure 4.14). La formule de la fitness a été mentionnée dans le chapitre précédent.

```

public static double Proba (String cont, String pile, DefaultTableModel C)
{
    double deg, Taux;
    double prb=0;
    for (int i=0; i<C.getRowCount(); i++)
    {
        if (C.getValueAt (i, 0).equals (cont.substring (2)))
        {
            deg = Double.parseDouble (C.getValueAt (i, 3).toString());
            Taux = Double.parseDouble (C.getValueAt (i, 4).toString());
            if (C.getValueAt (i, 2).equals ("Pile"+pile.substring (1)))
            {
                prb = deg*Taux/100;
            }
        }
    }
    return prb;
}

```

FIGURE 4.13 – La fonction qui calcule la probabilité

```

public static double Fitness (int idIndividu, DefaultTableModel Tab,
    DefaultTableModel C)
{
    double fit = 0.0, prb;
    pena = 0.0;
    String cont, pile;

    for (int i=1; i<Tab.getColumnCount()-2; i++)
    {
        cont = Tab.getColumnName (i).toString();
        pile = Tab.getValueAt (idIndividu, i).toString();
        prb = Proba (cont, pile, C);

        if (prb==0) pena=pena+rnd.nextDouble();

        fit = fit + prb;
    }

    return fit;
}

```

FIGURE 4.14 – La fonction qui calcule la fitness

La pénalité : on la calcule dans le cas où le conteneur est mal placé.

Puis on clique sur le bouton « lancer déchargement » afin de pouvoir commencer le déroulement de l'algorithme génétique qui permet l'emplacement des conteneurs en fonction de ce qui a été calculé (figure 4.15).



FIGURE 4.15 – Bouton « Lancer déchargement »

Après le lancement de déchargement on obtient :

- le temps de calcul qui est le temps exact pour trouver la solution optimale de notre problème (figure 4.16).



FIGURE 4.16 – Affichage de temps d'exécution

- Génération de la population sélectionnée, croisée et mutée et l'obtention de résultat final.
1. Population sélectionnée : qui présente 80 pour cent de la population initiale (dans notre exemple 80 individus triés en ordre décroissant en fonction de la fitness) (figure 4.17).

Individus	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14	CH15	CH16	CH17	CH18
Ind89	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P3	P1	P6	P6
Ind17	P2	P6	P1	P2	P1	P1	P2	P1	P2	P1	P6	P1	P2	P1	P6	P1	P1
Ind26	P3	P3	P4	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P6	P1	P5	P3	P3	P6	P1	P4
Ind64	P4	P2	P2	P5	P5	P2	P4	P6	P2	P3	P3	P2	P5	P2	P3	P2	P6
Ind4	P2	P4	P1	P6	P2	P1	P1	P3	P1	P6	P1	P3	P5	P3	P2	P2	P1
Ind92	P2	P1	P1	P1	P5	P3	P4	P3	P3	P4	P2	P2	P5	P4	P6	P4	P3
Ind88	P2	P6	P2	P4	P4	P5	P3	P6	P2	P5	P6	P2	P2	P5	P3	P6	P6
Ind49	P5	P5	P6	P2	P5	P1	P3	P6	P1	P4	P6	P5	P4	P2	P1	P3	P5
Ind77	P6	P1	P5	P5	P1	P6	P2	P3	P3	P4	P5	P4	P4	P6	P3	P5	P2
Ind98	P5	P4	P2	P4	P2	P4	P3	P5	P6	P1	P3	P4	P3	P5	P1	P2	P2
Ind71	P4	P6	P4	P1	P4	P1	P1	P4	P6	P3	P6	P2	P2	P4	P6	P4	P5
Ind30	P6	P2	P3	P1	P6	P5	P1	P6	P6	P4	P2	P5	P1	P1	P1	P6	P2
Ind93	P1	P1	P1	P4	P4	P2	P5	P2	P4	P6	P6	P2	P5	P4	P1	P2	P5
Ind61	P5	P6	P4	P3	P4	P2	P4	P6	P6	P6	P4	P1	P6	P5	P3	P1	P3
Ind100	P5	P2	P1	P3	P1	P5	P6	P2	P2	P1	P4	P3	P6	P1	P3	P6	P4
Ind46	P4	P2	P1	P3	P5	P4	P3	P6	P5	P4	P1	P2	P1	P4	P3	P4	P1
Ind13	P4	P5	P3	P5	P6	P2	P3	P1	P6	P3	P6	P2	P6	P6	P5	P6	P3
Ind32	P1	P3	P2	P4	P3	P5	P3	P2	P1	P1	P1	P4	P6	P1	P5	P3	P2
Ind94	P5	P2	P5	P5	P2	P5	P1	P3	P3	P1	P4	P1	P1	P6	P6	P4	P5
Ind23	P3	P1	P5	P2	P2	P6	P1	P5	P1	P4	P2	P3	P6	P1	P4	P4	P2
Ind5	P5	P2	P2	P6	P1	P4	P4	P1	P4	P4	P4	P1	P2	P6	P1	P6	P6
Ind69	P1	P5	P1	P3	P3	P1	P3	P6	P1	P1	P5	P4	P2	P5	P4	P2	P4
Ind19	P2	P2	P3	P6	P6	P2	P2	P4	P2	P6	P5	P6	P1	P6	P4	P3	P5
Ind59	P5	P3	P4	P3	P5	P6	P2	P3	P6	P3	P2	P2	P2	P5	P6	P4	P4
Ind74	P4	P1	P5	P4	P5	P6	P2	P2	P2	P5	P1	P4	P1	P5	P5	P1	P2
Ind18	P1	P4	P1	P6	P6	P2	P3	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P2	P2	P2	P4
Ind55	P6	P2	P6	P6	P4	P4	P6	P5	P3	P6	P1	P3	P4	P2	P2	P5	P4
Ind34	P4	P1	P4	P4	P3	P4	P4	P6	P5	P5	P6	P5	P3	P1	P1	P5	P3
Ind15	P1	P2	P1	P3	P2	P2	P5	P6	P4	P6	P2	P6	P5	P2	P2	P3	P2
Ind73	P3	P1	P2	P5	P4	P2	P1	P2	P2	P3	P3	P1	P3	P1	P6	P5	P4

FIGURE 4.17 – Génération de la population sélectionnée

2. Population croisée : qui présente 70 pour cent de la population sélectionnée (dans notre exemple 56 individus triés en ordre décroissant en fonction de la fitness) (figure 4.18).
3. Population mutée : dans notre exemple le taux de mutation est 5 pour cent, la mutation entre les emplacements se fait dans le même individu (figure 4.19).
4. Meilleurs individus : c'est un ensemble des meilleurs individus qui ont presque les mêmes emplacements (figure 4.20).
5. Solution optimale : Dans cette étape nous obtenons l'individu optimal qui contient les emplacements optimaux des conteneurs dans les piles (figure 4.21). Par exemple dans la (figure 4.21) le conteneur (ct104) doit être stocké dans la pile (P2), le conteneur (ct105) doit être stocké dans la pile (P5), et le conteneur (ct106) doit être stocké dans la pile (P1) et ainsi de suite.

On clique sur le bouton « Fermer » pour quitter la fenêtre de l'algorithme génétique (figure 4.22).

Population initiale		Selection		Croisement		Mutation		Meilleurs individus		Solution Optimale						
Individus	C192	C193	C194	C195	C196	C197	C198	C199	C1100	C1101	C1102	C1103	C1104	C1105	C1106	C1107
Ind89	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P3	P1	P6
Ind57	P2	P6	P1	P2	P1	P1	P2	P1	P2	P1	P6	P1	P2	P1	P6	P1
Ind26	P3	P3	P4	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P6	P1	P5	P3	P3	P6	P1
Ind64	P4	P2	P2	P5	P5	P2	P4	P6	P2	P3	P3	P2	P5	P2	P3	P2
Ind4	P2	P4	P1	P6	P2	P1	P1	P3	P1	P6	P1	P3	P5	P3	P2	P1
Ind92	P2	P1	P1	P1	P5	P3	P4	P3	P3	P4	P2	P2	P5	P4	P6	P4
Ind88	P2	P6	P2	P4	P4	P5	P3	P6	P2	P5	P6	P2	P2	P5	P3	P6
Ind49	P5	P5	P6	P2	P5	P1	P3	P6	P1	P4	P6	P5	P4	P2	P1	P5
Ind77	P6	P1	P5	P5	P1	P6	P2	P3	P3	P4	P5	P4	P4	P6	P3	P5
Ind98	P5	P4	P2	P4	P2	P4	P3	P5	P6	P1	P3	P4	P3	P5	P1	P2
Ind71	P4	P6	P4	P1	P4	P1	P1	P4	P6	P3	P6	P2	P2	P4	P6	P4
Ind30	P6	P2	P3	P1	P6	P5	P1	P6	P6	P4	P2	P5	P1	P1	P1	P6
Ind93	P1	P1	P4	P4	P4	P2	P5	P2	P4	P6	P6	P2	P5	P4	P1	P2
Ind61	P5	P6	P4	P3	P4	P2	P4	P6	P6	P6	P4	P1	P6	P5	P3	P1
Ind100	P5	P2	P1	P3	P1	P5	P6	P2	P2	P1	P4	P3	P6	P1	P3	P6
Ind46	P4	P2	P1	P3	P5	P4	P3	P6	P5	P4	P1	P2	P1	P4	P3	P4
Ind13	P4	P5	P3	P5	P6	P2	P3	P1	P6	P3	P6	P2	P6	P6	P5	P6
Ind32	P1	P3	P2	P4	P3	P5	P3	P2	P1	P1	P1	P4	P6	P1	P5	P3
Ind94	P5	P2	P5	P5	P2	P5	P1	P3	P3	P1	P4	P1	P1	P6	P4	P5
Ind23	P3	P1	P5	P2	P2	P6	P1	P5	P1	P4	P2	P3	P6	P1	P4	P2
Ind5	P5	P2	P2	P6	P1	P4	P4	P1	P4	P4	P1	P2	P6	P1	P6	P6
Ind69	P1	P5	P1	P3	P3	P1	P3	P6	P1	P1	P5	P4	P2	P5	P4	P2
Ind19	P2	P2	P3	P6	P6	P2	P2	P4	P2	P6	P5	P6	P1	P6	P4	P3
Ind59	P5	P3	P4	P3	P5	P6	P2	P3	P6	P3	P2	P2	P2	P2	P5	P6
Ind74	P4	P1	P5	P4	P5	P6	P2	P2	P2	P5	P1	P4	P1	P5	P5	P1
Ind18	P1	P4	P1	P6	P6	P2	P3	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P2	P2	P4
Ind55	P6	P2	P6	P6	P4	P4	P6	P5	P3	P6	P1	P3	P4	P2	P2	P4
Ind75	P2	P6	P3	P6	P3	P1	P5	P2	P1	P4	P3	P3	P4	P1	P1	P2
Ind34	P4	P1	P4	P4	P3	P4	P4	P6	P5	P5	P6	P5	P3	P1	P1	P5
Ind15	P1	P2	P1	P3	P2	P2	P5	P6	P4	P6	P2	P6	P5	P2	P2	P3

FIGURE 4.18 – Génération de la population croisée

Population initiale		Selection		Croisement		Mutation		Meilleurs individus		Solution Optimale						
Individus	C192	C193	C194	C195	C196	C197	C198	C199	C1100	C1101	C1102	C1103	C1104	C1105	C1106	C1107
Ind89	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P3	P1	P6
Ind57	P2	P6	P1	P2	P1	P1	P2	P1	P2	P1	P6	P1	P2	P1	P6	P1
Ind26	P3	P3	P4	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P6	P1	P5	P3	P3	P6	P1
Ind64	P4	P2	P2	P5	P5	P2	P4	P6	P2	P3	P3	P2	P5	P2	P3	P2
Ind4	P2	P4	P1	P6	P2	P1	P1	P3	P1	P6	P1	P3	P5	P3	P2	P1
Ind92	P2	P1	P1	P1	P5	P3	P4	P3	P3	P4	P2	P2	P5	P4	P6	P4
Ind88	P2	P6	P2	P4	P4	P5	P3	P6	P2	P5	P6	P2	P2	P5	P3	P6
Ind49	P5	P5	P6	P2	P5	P1	P3	P6	P1	P4	P6	P5	P4	P2	P1	P5
Ind77	P6	P1	P5	P5	P1	P6	P2	P3	P3	P4	P5	P4	P4	P6	P3	P5
Ind98	P5	P4	P2	P4	P2	P4	P3	P5	P6	P1	P3	P4	P3	P5	P1	P2
Ind71	P4	P6	P4	P1	P4	P1	P1	P4	P6	P3	P6	P2	P2	P4	P6	P4
Ind30	P6	P2	P3	P1	P6	P5	P1	P6	P6	P4	P2	P5	P1	P1	P1	P6
Ind93	P1	P1	P4	P4	P4	P2	P5	P2	P4	P6	P6	P2	P5	P4	P1	P2
Ind61	P5	P6	P4	P3	P4	P2	P4	P6	P6	P6	P4	P1	P6	P5	P3	P1
Ind100	P5	P2	P1	P3	P1	P5	P6	P2	P2	P1	P4	P3	P6	P1	P3	P6
Ind46	P4	P2	P1	P3	P5	P4	P3	P6	P5	P4	P1	P2	P1	P4	P3	P4
Ind13	P4	P5	P3	P5	P6	P2	P3	P1	P6	P3	P6	P2	P6	P6	P5	P6
Ind32	P1	P3	P2	P4	P3	P5	P3	P2	P1	P1	P1	P4	P6	P1	P5	P3
Ind69	P1	P5	P1	P3	P3	P1	P3	P6	P1	P1	P5	P4	P2	P5	P4	P2
Ind94	P5	P2	P5	P5	P2	P5	P1	P3	P3	P1	P4	P1	P1	P6	P4	P5
Ind23	P3	P1	P5	P2	P2	P6	P1	P5	P1	P4	P2	P3	P6	P1	P4	P2
Ind5	P5	P2	P2	P6	P1	P4	P4	P1	P4	P4	P1	P2	P6	P1	P6	P6
Ind19	P2	P2	P3	P6	P6	P2	P2	P4	P2	P6	P5	P6	P1	P6	P4	P3
Ind59	P5	P3	P4	P3	P5	P6	P2	P3	P6	P3	P2	P2	P2	P2	P5	P6
Ind74	P4	P1	P5	P4	P5	P6	P2	P2	P2	P5	P1	P4	P1	P5	P5	P1
Ind18	P1	P4	P1	P6	P6	P2	P3	P4	P4	P4	P4	P6	P6	P2	P2	P4
Ind55	P6	P2	P6	P6	P4	P4	P6	P5	P3	P6	P1	P3	P4	P2	P2	P4
Ind75	P2	P6	P3	P6	P3	P1	P5	P2	P1	P4	P3	P3	P4	P1	P1	P2
Ind34	P4	P1	P4	P4	P3	P4	P4	P6	P5	P5	P6	P5	P3	P1	P1	P5
Ind15	P1	P2	P1	P3	P2	P2	P5	P6	P4	P6	P2	P6	P5	P2	P2	P3

FIGURE 4.19 – Génération de la population mutée

Population initiale		Selection		Croisement		Mutation		Meilleurs individus		Solution Optimale						
Individus	C192	C193	C194	C195	C196	C197	C198	C199	C1100	C1101	C1102	C1103	C1104	C1105	C1106	C1107
2	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P1	P3	P1
4	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P1	P3	P1
6	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P1	P3	P1
8	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P1	P3	P1
0	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P1	P3	P1

FIGURE 4.20 – Meilleurs individus

Population initiale		Selection		Croisement		Mutation		Meilleurs individus		Solution Optimale						
Individus	C192	C193	C194	C195	C196	C197	C198	C199	C1100	C1101	C1102	C1103	C1104	C1105	C1106	C1107
sol. Fin.	P2	P5	P3	P5	P5	P3	P3	P6	P3	P1	P6	P3	P1	P1	P3	P1

FIGURE 4.21 – La solution optimale



FIGURE 4.22 – Bouton « Fermer »

### 4.3.3 Lancement de la simulation

A l'aide de l'algorithme génétique on obtient des emplacements optimaux des conteneurs dangereux dans les piles, on les représente dans une zone de simulation qui nous permet d'établir des scénarios.

Cette zone de simulation est composé de :

1. Barre standard qui donne le détail de chaque pile : les conteneurs qui sont stockés dans cette pile et leur nombre total(figure 4.23).



FIGURE 4.23 – Détails piles dans la zone de simulation

2. Barre standard des paramètres de la simulation qui est composé de temps de la simulation, la vitesse de la simulation ainsi du bouton « démarrer » pour commencer la simulation et l'heure actuelle(figure 4.24).



FIGURE 4.24 – Les paramètres de la simulation

3. Barre standard qui représente la solution optimale obtenue par l'algorithme génétique(figure 4.25).

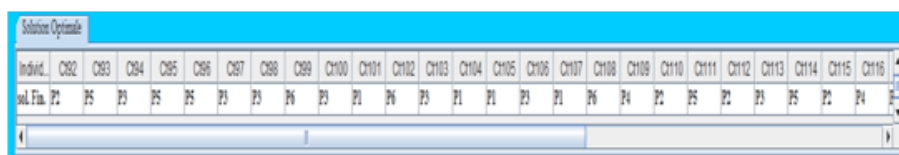


FIGURE 4.25 – Affichage de la solution optimale dans la zone de simulation

4. Barre standard qui représente la zone de stockage qui est composée de piles, lorsque on clique sur le bouton « démarrer » la simulation avec animation permettent d'établir des scénarios commence et chaque conteneur va être stocké dans la pile associée(figure 4.26).

- Les conteneurs de type 1 sont représentés en « Orange ».
- Les conteneurs de type 2 sont représenté en « Rouge ».
- Les conteneurs de type 3 sont représenté en « Gris ».



FIGURE 4.26 – La simulation

5. Le journal d'événement qui permet de montrer le suivi des événements de la simulation : ce journal affiche un historique des affectations des conteneurs dans la zone de stockage (figure 4.27).

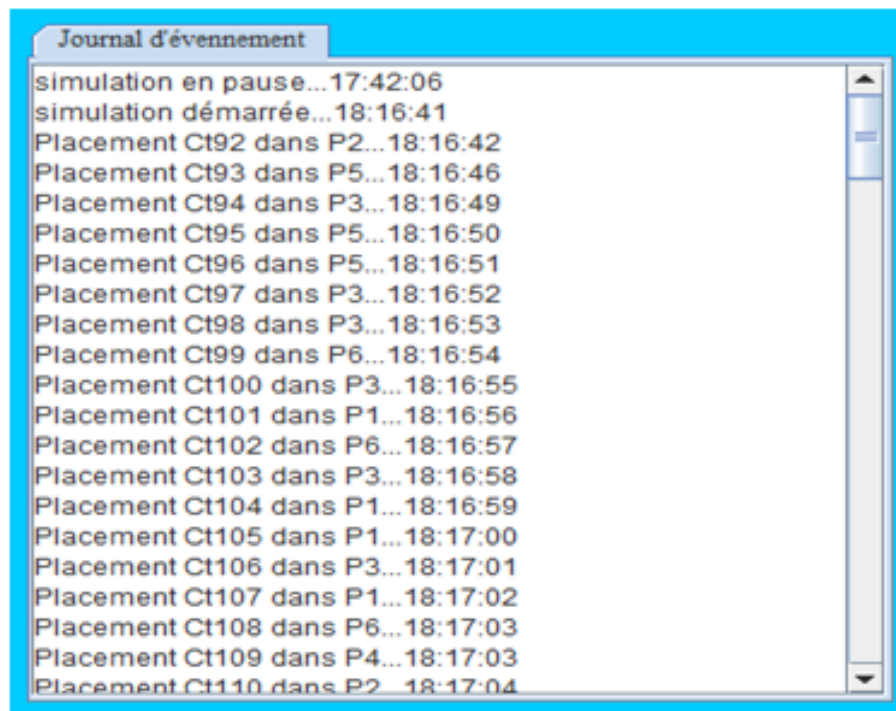


FIGURE 4.27 – Journal d'événement de la simulation

#### 4.4 CONCLUSION

Ce chapitre a été complètement dédié à la mise en œuvre de notre application.

Nous avons expliqué le fonctionnement de notre logiciel et l'implémentation de l'algorithme génétique afin de pouvoir donner un résultat optimal pour le stockage des conteneurs dangereux dans les piles.



# CONCLUSION GÉNÉRALE

A l'origine de cette approche est un intérêt pour les problèmes de transport maritime conteneurisé. La gestion de stockage des conteneurs dangereux associés à ce transport représente une préoccupation de plusieurs dirigeants d'entreprises et fait l'objet de plusieurs travaux de recherche.

Nous nous sommes intéressé au problème de stockage de conteneurs dangereux (PSC) qui constitue un problème complexe et ouvert s'inscrivant dans le cadre des problèmes d'optimisation combinatoire. Il s'agit de réduire les temps morts en minimisant le nombre de mouvements pouvant se produire lors de l'opération de déchargement tout en respectant des contraintes de distance et de type. Il nous est alors nécessaire de proposer un modèle qui résout et optimise le placement de conteneurs dangereux à leurs arrivées.

Sur le plan théorique : Notre première contribution était de proposer un système de stockage basé sur les algorithmes génétiques qui consiste à faire évoluer une population des individus parents pour obtenir des fils à l'aide des opérateurs génétiques : Sélection, croisement et mutation. Cette méthode permet de passer d'une génération à une autre plus évoluées jusqu'à arriver à une solution optimale.

Nous avons commencé dans notre modèle par la génération de la population initiale qui est les emplacements des conteneurs dangereux jusqu'à arriver à la solution finale qui nous a permis de stocker chaque conteneur dans la pile qui lui convient.

Notre deuxième contribution dans cette thèse était la simulation du résultat obtenu par l'algorithme génétique, d'où nous avons visualisé les mouvements des conteneurs dangereux dans la zone de stockage : chaque conteneur a été stocké dans la pile de son type et entre chaque conteneur et un autre une distance fixe.

Afin d'illustrer au mieux la structure ainsi que le comportement de notre approche nous l'avons implémenté en exploitant la plateforme netbeans tout en bénéficiant de ses outils graphiques.

En termes de pré requis théorique, cette étude nous a permis de manipuler l'algorithme génétique et de découvrir le monde de gestion des conteneurs dangereux dans les zones de stockage ainsi que plusieurs notions de développement des applications en Java.

Au cours de cette thèse, nous avons développé un modèle qui nous a permis d'identifier le meilleur emplacement pour un conteneur dangereux dans la zone de stockage...

Cette thèse se décompose en quatre chapitres correspondant au cheminement de notre démarche :

- Chapitre 1 : Transport maritime et conteneurisation Ce chapitre présente le transport maritime conteneurisé des matières dangereuses et définit les différentes terminologies et concepts intrinsèques.
- Chapitre 2 : Le Problème de stockage de Conteneurs PSC et les méthodes de résolution Ce chapitre aborde les différents outils de résolution de PSC .  
Ce chapitre nous a permis ainsi de nous positionner par rapport à notre problématique et de spécifier nos orientations et nos choix qui serviront de fondements à notre proposition.
- Chapitre 3 : Conception et modélisation d'un système pour le stockage des conteneurs dangereux Dans ce chapitre, nous présentons notre contribution concernant le stockage des conteneurs dangereux en utilisant les algorithmes génétiques.
- Chapitre 4 : Mise en œuvre du système de stockage Ce chapitre est consacré à la présentation de l'application relative au stockage des conteneurs dangereux dans un port.
- Nous avons terminé par la présente conclusion où nous ouvrons des perspectives à notre travail.

## PERSPECTIVES

Dans la continuité directe de notre travail de thèse, nous prévoyons :

- Implémentation des agents dans notre modèle.
- Implémenter d'autres méthodes d'optimisation et faire une étude comparative.
- La simulation de l'approche peut être améliorée en lui attribuant un aspect plus réel à travers l'implémentation de plusieurs plateformes afin d'aboutir à une version Web.
- Prendre en considération plusieurs critères et implémenter une méthode multicritères d'aide à la décision sur une plateforme distribuée qui est la plateforme Jade.
- Utiliser un logiciel de simulation tel que le logiciel Anylogic.

...

# BIBLIOGRAPHIE

- Penn M. Shpirer N. Avriel, M. Container ship stowage problem : complexity and connection to the coloring of circle graphs. *Applied Mathematics*, 103 :271–279, 2000. (Cité page 27.)
- Kammarti R. Ksouri M. Borne P. Ayachi, I. A genetic algorithm to solve the container storage space. *International conference on Computational Intelligence and Vehicular System (CIVS)*, 2010. (Cité page 35.)
- F. Benmaghnia. Une technique de placement des conteneurs basee sur des les algorithmes de colonies de fourmis pour la reduction de cout de stockage de conteneurs. *Memoire de Master, Universite d'Oran1, Ahmed Benbella*, 2016. (Cité pages 10, 46, 47 et 48.)
- Yachba K. Hamdadou D.Guennachi K. Bouamrane, K. Towards a decision support system, application : itinerary road modification for road transport of hazardous materials. *Int. J. Decision Sciences, Risk and Management*, 4(3/4) :175–196, 2012. (Cité page 13.)
- K. Chebli. Optimisation des mouvements des conteneurs dans un terminal maritime. *memoire presentee en vue de l'obtention du diplome de maitrise des sciences appliquees (Genie Industriel), ecole polytechnique de Montreal, Canada*, 2011. (Cité pages 30 et 33.)
- Conf. La surete du transport international de conteneurs,organisation de cooperation et de developpement economiques. *Conference europeenne des ministres des transports*, 2005. (Cité page 12.)
- Cours16. Plan du cours transport externe, support du cours. *CSFTL Borj CEDRIA*, 2016. (Cité pages 9, 10 et 21.)
- J. Dubreuil. La logistique des terminaux portuaires de conteneurs , centre interuniversitaire de recherche sur les reseaux d'entreprise. *Memoire, Centre Universitaire de Recherche sur les Reseaux d'Entreprise la Logistique et Transport, Montreal, Canada*, 2008. (Cité pages 19, 20, 21, 30 et 32.)
- M. Ezzahraoui. Logistique et transport international, technique et tarification. 2013. (Cité pages 10 et 11.)
- A. fremont. Les resaux maritimes conteneurises. 2005. (Cité page 16.)
- A. fremont. Le monde en boite,synthese n° 53. 2007. (Cité page 17.)
- Joffrey T. Ivan, B. Algorithme genetique. *Presentation, Ingenieurs 2000 IR3, France*, 2000. (Cité pages xiv et 51.)

- D. Jean. Optimisation multi objectif des systemes energetiques. *These de doctorat, Universite de Montreal*, 2010. (Cité pages 49 et 50.)
- Anil K.R Sachin S. Jyoti, S. Life form classification and biological spectrum of lamberi forest range, rajouri, j and k, india. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 11(3) :234–239, 2014. (Cité page 35.)
- MG. kefi. Optimisation heuristique distribuee du probleme de stockage de conteneurs dans un port, l’ecole centrale de lille, france. *These du doctorat*, 2008. (Cité pages 9, 19, 30, 32 et 40.)
- Bae J. W. Kim, K. H. Re-marshaling export containers in port container terminals. *Computers and Industrial Engineering*, 35(3-4) :655–658, 1998. (Cité page 30.)
- Kim H. Kim, K. A routing algorithm for a single transfer crane to load export containers onto a containership. *Computers and Industrial Engineering*, 33 :673–676, 1997. (Cité pages 30 et 32.)
- Park Y. M. Ryu K. R. Kim, K.H. Deriving decision rules to locate export containers in container yards. *European Journal of Operational Research*, (124) :89–101, 2000. (Cité pages 28 et 30.)
- Yim O. Korbaa, S. Affectation dans les piles dans un port fluvial. *Conference internationale des systemes*, 2004. (Cité page 30.)
- M.A Laribi. La resolution et l’optimisation du problème de stockage de conteneurs dans un port fluvial ou maritime. *Memoire de Master, Universite d’Oran1, Ahmed BenbellaCybernetics*, 2014. (Cité pages 17 et 27.)
- Liu J. Wan Y.W. Linn R Murty, K.G. A decision support system for operations in a container shipping terminal. *Decision Support Systems*, 39 : 309–332, 2005. (Cité page 30.)
- F.N Ndeye. A branch-and-cut algorithm to solve the container storage problem. *The Ninth International Conference on Systems, University of Le Havre, France*, 2014. (Cité pages 31 et 33.)
- Ibrahima D. Adnan Y. Ndeye, F. N. Le problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire sans remaniements. *Laboratoire de Mathematiques Appliquees du Havre (LMAH) Cedex, France*, 2009. (Cité page 32.)
- Netoo. [fr.wikipedia.org/wiki/java\(langage\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/java(langage)). *Available at*. (Cité page 60.)
- Neto1. <http://fr.wikipedia.org/wiki/netbeans>. *Available at*. (Cité page 59.)
- Neto2. <http://lezi.cnrs.fr/img/publications/2444rapport2omaster.pdf>. *Available at*. (Cité page 53.)
- Neto3. <http://souqueta.free.fr/project/files/teag.pdf>. *Available at*. (Cité pages xiv et 53.)
- Neto4. <https://rfia2012.files.wordpress.com/2012/02/gapm.pdf>. *Available at*. (Cité pages 51 et 52.)

- Neto5. <http://khayyam.developpez.com/articles/algo/genetic/>. *Available at*. (Cité pages 44, 50, 51 et 54.)
- Neto6. <http://uml.free.fr/cours/i-p19.html>. *Available at*. (Cité page 44.)
- Neto7. <http://laurent-audibert.developpez.com/cours-uml/?page=diagramme-classes>. *Available at*. (Cité page 44.)
- Neto8. <http://www.unece.org/fileadmin/dam/trans/danger/publi/adn/adn2009/french>. *Available at*. (Cité page 40.)
- Net15. <http://www.les-infostrateges.com/actu/11091280/affaire-oracle-google-etat-des-lieux>. *Available at*. (Cité pages xiv, 14, 15 et 60.)
- Zhan J. Jun W. Xing T. Quan, M. An improved genetic algorithm for searching for pollution sources. *Water Science and Engineering*, 6(4) :392–401, 2013. (Cité page 35.)
- Radet F.G. Souquet, A. Algorithmes genetiques. *TE de fin d'annee Tutorat de Mr Philippe Audebaud*, 2004. (Cité page 34.)
- Winter T. Zimmermann U.T. Steenken, D. Online optimization of large scale systems, chapter stowage and transport optimization in ship planning. *Springer, Berlin*, pages 731–745, 2001. (Cité page 27.)
- Roach P.A. Wilson, I. D. Container stowage planning : a methodology for generating computerised solutions. *Journal of the Operational Research Society*, (51) :1248–1255, 2000. (Cité page 28.)
- K. Yachba. Identification des itineraires et des flux relatifs aux risques lies aux transports routiers de matieres dangereuses : Analyse et redeploiement des infrastructures (ifrtrmd). *Memoire de Magister, Université© d'Oran, Ahmed Benbella*, 2012. (Cité pages 13, 14, 15 et 16.)
- Shahin G. Bouamrane K. Yachba, K. Containers storage optimization in a container terminal using a multimethod multi-level approach. *In the International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE45), Metz, France*, 2015. (Cité page 31.)
- Shahin G. Bouamrane K. Yachba, K. Storage management of hazardous containers using the genetic algorithm. *Journal Of Transport and Telecommunication, Latvia*, 17(4), 2016. (Cité page 31.)





**Titre** Vers une contribution dans le transport maritime de marchandises :  
Optimisation de placement des conteneurs dans un port maritime

**Résumé** Le résumé en français ( $\approx$  1000 caractères)

**Mots-clés** Les mots-clés en français

**Title** Le titre To contribute in the maritime transport of goods : Container  
placement optimization in a seaport en anglais

**Abstract** Le résumé en anglais ( $\approx$  1000 caractères)

**Keywords** Les mots-clés en anglais