

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Abderahmane Mira de Béjaïa

Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de
MASTER en Recherche Opérationnelle

Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

Thème :

*Entreposage des conteneurs au niveau du Centre de Transit des
Marchandises Dangereuses du port de Béjaïa.*

Présenté par : **BOUNIA Lina & LADJEMIL Nesrine**

Devant le jury composé de :

Président	Dr Khimoum Nouredine	M.C.B.	Univ. de Béjaïa
Rapporteur	Pr Lekadir Ouiza	M.C.A.	Univ. de Béjaïa
Examinatrice	Mme Kendi Salima	M.A.A.	Univ. de Béjaïa
Examineur	Dr Asli Larbi	M.C.B.	Univ. de Béjaïa

Béjaïa, Septembre 2021.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation de Master et pouvoir réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à notre encadreur Mme LEKADIR Ouiza qui nous a proposé le thème de ce mémoire et nous a guidé de ses précieux conseils et suggestions, et la confiance qu'elle nous a témoigné tout au long de ce travail.

Nous tenons à remercier énormément Mr ASLI Larbi qui nous a guidé de ses précieux conseils dans la programmation de notre application.

Nous tenons à gratifier aussi les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner.

On adresse aussi nos remerciements à tous les enseignants de la filière Recherche Opérationnelle.

Enfin, on adresse nos sincères sentiments de gratitude et de reconnaissance à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

** A mes très chers parents qui n'ont pas lésé d'efforts a bien élevé leur prodige fille à me conseiller à m'encourager et à me soutenir durant toute la période de mes études.*

** A mes sœurs adorables, SOUAD, NADIRA et SAMIHA, à mes chers frères, LOUNES et MAMINE pour ses soutiens morales et leurs conseils précieux tout au long de mes études.*

** A ma chère binôme, NESRINE pour son entente et sa sympathie.*

** A mon cher HOCINE et ma chère SOUHILA pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.*

Enfin, à toute ma famille et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

** Lina Bounia**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

** A mes très chers parents qui n'ont pas lésé d'efforts a bien élevé leur prodige fille à me conseiller à m'encourager et à me soutenir durant toute la période de mes études.*

** A ma sœur adorable, KAMILIA, à mes chers frères, FERHAT et FATAH pour leurs soutiens morales et leurs conseils précieux tout au long de mes études.*

** A ma chère binôme, LINA pour son entente et sa sympathie.*

** A mon cher YACINE pour son aide et support dans les moments difficiles.*

Enfin, à toute ma famille et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

** Nesrine Ladjemil**

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iv
Liste des tableaux	v
Introduction Générale	1
1 Présentation de l'Entreprise Portuaire de Bejaia	4
Introduction	4
1.1 Historique De L'EPB	5
1.2 Position géographique	6
1.3 Les missions, activités et services offerts par L'EPB	6
1.3.1 Les missions de l'EPB	6
1.3.2 Les activités de l'EPB	7
1.3.3 Les services offerts par l'EPB	8
1.4 La jointure EPB-PORTEK	9
1.5 Données techniques de L'EPB	9
1.5.1 L'accès du Port	9
1.5.2 Infrastructures portuaires	9
1.5.3 Les bassins et les passes	10
1.5.4 Les ouvrages d'accostage : Quais	10
1.5.5 Les principales installations du port	11
1.5.6 Zones extra-portuaires	11
1.6 Les surfaces d'entreposage	12
1.7 Organisation des directions	13
1.8 Présentation des différentes directions	14
1.8.1 Direction des Ressources Humaines (DRH)	14

1.8.2	Direction Finance et Comptabilité (DFC)	15
1.8.3	Direction Digitalisation et Numérique(DDN)	15
1.8.4	Direction d'Achat (DA)	15
1.8.5	Direction Capitainerie (DC)	16
1.8.6	Direction Maintenance (DM)	16
1.8.7	Direction Exploitation (DE)	16
1.8.8	Direction Domaine et Développement (DDD)	17
	Conclusion	17
2	Présentation du Centre de transit des marchandises dangereuses	18
	Introduction	18
2.1	Centre de transit des marchandises dangereuses	18
2.2	Définition des marchandises dangereuses	21
2.3	Classification des marchandises dangereuses	22
2.4	Marchandises autorisées à transiter par le CTMD	23
2.5	La procédure de la réception des marchandises dangereuses	23
2.6	Processus de Transit par le CTMD	25
2.7	Entreposage et séparation entre les classes des marchandises dangereuses	26
2.8	Les risques identifiés au CTMD	27
2.9	Les moyens mis en place par l'EPB pour la gestion des risques des MD	28
2.10	Les équipements de sécurité spécifiques au traitement des matières dangereuses	28
2.11	Tonnage transité par le CTMD	29
	Conclusion	32
3	Programmation Par Contraintes	34
	Introduction	34
3.1	Définition de problème de satisfaction des contraintes (CSP)	34
3.1.1	Modélisation	35
3.1.2	Notions de contrainte et d'affectation	35
3.1.3	Complexité d'un CSP	36
3.2	Méthodes de résolution d'un CSP	36
3.2.1	La méthode générer et tester	36
3.2.2	La méthode Backtrack (Retour Arrière)	37
3.2.3	La méthode d'anticipation	38
	Conclusion	40

4	Modélisation et résolution du problème	41
	Introduction	41
4.1	Modélisation du problème	42
4.1.1	Ensemble des variables	42
4.1.2	Ensemble des domaines	45
4.1.3	Ensemble des contraintes	45
4.2	Résolution du problème	47
4.2.1	Quelques exemples d'application	49
	Conclusion	54
	Conclusion générale	56
	Annexe	58
	A	58
A.1	Table de ségrégation des classes des produits dangereux	59
A.2	Documents nécessaires pour la réception des MD au CTMD	60
	Bibliographie	63

Table des figures

1.1	Ancienne image de la ville de Béjaia.	5
1.2	La situation géographique.	6
1.3	Jointe-venture EPB-PORTEK.	9
1.4	Plan de masse de l'EPB.	12
1.5	Organigramme des différentes directions de l'EPB.	14
2.1	Les dimensions du CTMD.	19
2.2	Les dimensions d'un conteneur.	20
2.3	Les caractéristiques des conteneurs et sa pièce identité.	20
2.4	Les dimensions du steacker.	21
2.5	Diagramme du Processus de Transit.	25
2.6	Table de ségrégation des classes.	26
2.7	Histogramme du tonnage des MD pendant les 5 dernières années.	31
2.8	Diagramme circulaire pourcentage de différentes classes des MD.	32
4.1	Plan d'entrepôt.	43
4.2	Les dimensions d'un emplacement d'un conteneur.	44
4.3	Les différentes fonctions principales de l'application "Automatisation-entrepôt-TC-CTMD-EPB".	48
4.4	Exemple 1 : La situation après l'affectation des TCs arrivés entre le 01 et le 09 mai.	50
4.5	Exemple 2 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.	51
4.6	Exemple 3 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.	52
4.7	Exemple 4 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.	53
4.8	Exemple 5 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.	54
A.1	Table de séparation par classe.	59
A.2	Lettre d'engagement.	60
A.3	Déclaration de la marchandise dangereuse.	61
A.4	Permis d'admission.	62

Liste des tableaux

2.1	Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2016.	29
2.2	Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2017.	29
2.3	Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2018.	30
2.4	Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2019.	30
2.5	Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2020.	31
3.1	L'algorithme générer et tester	37
3.2	L'algorithme de backtrack (retour-arrière)	38
3.3	L'algorithme d'anticipation (Look Ahead)	39
4.1	Table de séparation des marchandises dangereuses.	46

Introduction Générale

La mondialisation constitue un vecteur de modernisation, subi ou maîtrisé, du secteur maritime. Les adaptations sont introduites à un rythme inégal, selon les secteurs (transport maritime, construction navale, ports, logistiques) et selon le degré d'exposition à la concurrence internationale [Oua16]. Les effets de la mondialisation sur le secteur portuaire ne se sont pas faits attendre, puisque durant la dernière décennie, les ports du monde ont été affectés par d'importantes réformes institutionnelles et organisationnelles, essentiellement par l'adoption de politiques publiques de privatisation, de déréglementation et de décentralisation des infrastructures de transport. Ces réformes dans la gouvernance portuaire furent associées aux objectifs plus généraux d'amélioration de l'efficacité portuaire et au désir de réduire l'intervention de l'état dans la planification et la gestion des infrastructures maritimes.

Le système portuaire algérien comporte treize (13) infrastructures portuaires; parmi celles-ci en trouve le port de Béjaia qui occupe une place très importante aux niveaux national surtout sur le trafic des conteneurs. La conteneurisation pourra ainsi accroître le trafic des marchandises de ce port pour accueillir des navires de gros tonnages et améliorer l'exploitation des quais à conteneurs [Ben16].

Le port de Béjaia joue un rôle très important dans les transactions internationales vu sa place et sa position géographique. Aujourd'hui, il est classé 2ème port d'Algérie en marchandises générales et 3ème port pétrolier, il est doté d'infrastructures, de techniques et d'installations performantes permettant le transport des marchandises, d'ailleurs c'est le 1er port en Algérie qui a mis en exploitation un centre de transit des marchandises dangereuses malgré leurs haut risques et ce pour satisfaire la demande des clients. Le port de Béjaia arrive par sa position géographique favorable, par le dynamisme de son équipe et par l'hospitalité de sa région à s'affirmer comme la destination choisie par les armateurs et les clients de tous les pays. La sollicitation grandissante et la position stratégique de ce port ont ouvert les portes aux développements du transport maritime et à la conteneurisation et au commerce du pays.

La conteneurisation peut être considérée comme la révolution la plus marquante dans l'activité maritime et portuaire. C'est un mode de conditionnement dont l'usage est relativement récent en Algérie. Dans les années 70 et 80, l'utilisation du conteneur a été plutôt un choix forcé dans le commerce maritime en Algérie, imposé par son statut de quasi importateur net de biens manufacturés conteneurisables. La conteneurisation participe à l'augmentation du trafic maritime mondial puisqu'elle rend plus facile le transport des marchandises de tous types. Cette conteneurisation a entraîné la construction de bateaux spécifiques et des porte-conteneurs pour les transporter. Par conséquent, la popularité du conteneur continue à progresser et la quantité de marchandises transportées par ce moyen est constamment en augmentation [Raj05].

Le développement de la société et de l'industrie nécessite de plus en plus de matières dites dangereuses (MD), c'est-à-dire de substances qui par leurs propriétés physiques ou chimiques peuvent présenter un danger pour l'homme et pour l'environnement citant à titre d'exemple la catastrophe du port de Beyrouth qui rappelle une nouvelle fois la dangerosité de ces matières. Le transport et le transit de ces MD nécessitent des centres de stockage spécialisés. Le Centre de Transit des Marchandises Dangereuses (CTMD) du port de Béjaia est conçu au départ pour le transit des MD en colis, mais actuellement, il reçoit des quantités importantes en conteneurs pour lesquels il n'est pas performant vu le manque d'espace d'où pour y remédier à cette nonperformance et à ce manque d'espace il y'a lieu de faire appel aux outils de modélisation mathématique et d'aide à la décision qui nous permettront d'automatiser ces actions de transit et de transport.

En effet, de nos jours, presque tout est automatisé, la plupart des organisations de technologie informatique disposent d'une multiplicité de technologies d'automatisation. Un système automatisé est composé de plusieurs éléments conçus pour effectuer un ensemble de tâches programmées, il simplifie, sécurise et rend moins pénibles les tâches répétitives et opérationnelles.

Le CTMD reçoit des quantités importantes en conteneur pour lequel il n'est pas performant vu le manque d'espace. La surface de ce centre est occupée par six hangars qui sont exploités à un taux insignifiant où, on ne peut pas toucher à leurs structures et la surface restante ne répond pas au nombre de conteneurs réalisés. Donc, on est amené à optimiser l'espace restant dans l'attente d'une extension.

La manipulation des conteneurs se fait avec des engins de dimensions importantes qui exigent des couloirs pour la circulation.

C'est dans le but de proposer au centre CTMD du port de Béjaia une application d'automatisation d'entreposage des MD qu'on a effectué un stage au sein de la direction de la capitainerie à l'Entreprise Portuaire de Béjaia (EPB). Cette automatisation est indispensable pour les agents du CTMD qui se retrouvent à chaque fois dans la situation où ils cherchent des emplacements pour les MD en tenant compte de la table de ségrégation en se basant juste sur leurs expériences et leurs ancienneté.

Ainsi, notre objectif dans ce mémoire est de proposer une application d'automatisation qui permet d'établir une solution réalisable qui consiste à satisfaire les contraintes de sûreté et de sécurité exigées par le CTMD et par la qualité des MD tout en essayant de réduire le nombre de zones d'entreposage et d'améliorer la capacité de stockage. Et ce, en faisant appel à l'outil de la programmation par contraintes pour la résolution du problème de satisfaction par contraintes (CSP).

Pour mener à bien ce travail, nous avons jugé utile de diviser ce mémoire en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, on va présenter l'Entreprise Portuaire de Béjaia (EPB) en générale en donnant : son historique, sa position géographique et ses différentes activités, missions et services.

Dans le deuxième chapitre, on va donner une présentation du Centre de Transit des Marchandises Dangereuses, nous allons énumérer les différentes classes de marchandises dangereuses transitées par ce centre et présenter le plan de séparation de ces MD admissibles au CTMD.

Dans le troisième chapitre, Nous allons décrire les principes de la programmation par contraintes (PPC) et les problèmes de satisfaction des contraintes (CSP), on va désigner les différentes étapes pour modéliser un CSP et ses méthodes de résolution.

Et dans le dernier chapitre, on va modéliser notre problème, appliquer les outils de programmation par contraintes pour résoudre le CSP associé à notre modèle établi et on va présenter des exemples illustratifs d'application de notre application sur les données récupérées à la direction de la capitainerie de l'EPB.

Ce mémoire s'achèvera par une conclusion générale qui récapitule le travail réalisé et propose les améliorations envisageables.

Chapitre 1

Présentation de l'Entreprise Portuaire de Bejaia

Introduction

Un port est un endroit géographique par lequel transitent des marchandises et/ou des passagers, il existe quatre types de port : les ports de commerces, de pêches, de plaisances et militaires. Les ports sont classés selon leurs activités principales et selon leurs niveaux d'infrastructures, de superstructures et de techniques de communication et d'échange de données, ils sont classés en cinq générations. Le port de Béjaia est classé en 3^{ème} génération¹. L'Algérie dispose d'une façade maritime de 1200km jalonnée de 11 ports de commerce : 03 ports pétroliers, 03 ports poly-fonctionnels, 02 ports moyens et 03 petits ports. Parmi ces ports le port de Béjaia est poly-fonctionnels, il joue un rôle très important dans les transactions internationales vu sa place et sa position géographique. Il est classé deuxième port d'Algérie en termes d'activités commerciales, d'aménagement moderne des superstructures, de développement des infrastructures, d'utilisation de moyens de manutention et de techniques adaptées à l'évolution de la technologie des navires. Les outils de gestion modernes dont dispose le port de Béjaia depuis 1990 lui ont permis de bien évoluer pour être aujourd'hui le :

- 1^{er} port du bassin méditerranéen à être certifié ISO 9001 pour l'ensemble de ses activités ;
- 2^{ème} port algérien, à la fin 2004, dans l'import des marchandises générales ;
- 3^{ème} port pétrolier en Algérie ;

1. Terminal à conteneurs du port de Béjaia, Site internet : www.bejaiaimed.com

- 1^{er} port algérien à avoir mis en exploitation un centre de transit des marchandises dangereuses ;
- 1^{er} port algérien doté d'un terminal à conteneurs ;
- 1^{er} port algérien à avoir développé son rôle industriel en procédant à l'attraction d'industries génératrices de valeur ajoutée ;
- 1^{er} port algérien à avoir mis en place un réseau informatique local ;
- 1^{er} port algérien à avoir développer une comptabilité analytique pour une meilleure maîtrise des coûts ;
- Port pilote dans le projet de mise en place d'un système d'échange de données informatisées "EDI".

1.1 Historique De L'EPB

L'historique de l'EPB (Entreprise Portuaire de Béjaïa) est lié à l'histoire de sa ville, à l'origine berbère de l'antique Numidie. En effet, les phéniciens fondèrent un comptoir commercial, il y'a de cela plus de 2000 ans.

Le port de Béjaïa Jusqu'à l'arrivé des français, était fermé par la porte sarrasin. Les français réalisent le 1er ouvrage du port en 1834, ses ouvrages de protection sont édifiés en 1870 et 1879, alors que des travaux liés au port marchand sont construits et achevés en 1911.

Entre 1958 et 1960 sont construites les installations nécessaires à la réception des pétroliers dans l'avant-port, ainsi en 1960 fut chargé le 1er pétrolier au port de Béjaïa. Les configurations actuelles de l'avant-port sont tracées en 1992.



FIGURE 1.1 – Ancienne image de la ville de Béjaïa.

1.2 Position géographique

Le port de Béjaïa joue un rôle très important dans les transactions internationales vu sa place et sa position géographique. Sa situation géographique lui offre beaucoup de commodités exceptionnelles qui font de lui qu'il dispose : de dessertes routières reliant l'ensemble des villes du pays, de voies ferroviaires et d'un aéroport international, ce qui lui offre des facilités en matières de transfert de marchandises de toutes natures vers toutes destinations.

Le port de Béjaïa est délimité :

- au nord par la route nationale N°9 ;
- au sud par les jetées de fermeture et du large sur une largeur de 2 750 m ;
- à l'est par la jetée Est ;
- à l'ouest par la zone industrielle de Béjaïa.

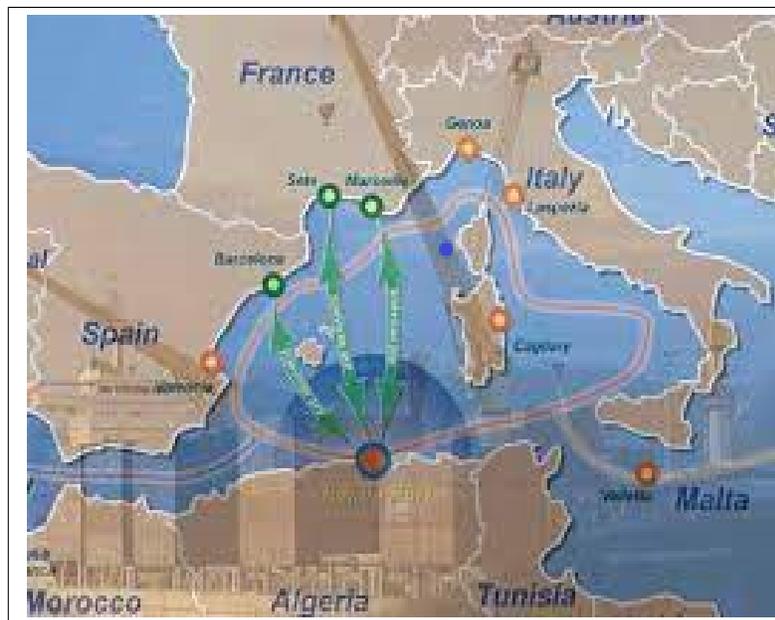


FIGURE 1.2 – La situation géographique.

1.3 Les missions, activités et services offerts par L'EPB

1.3.1 Les missions de l'EPB

l'EPB à pour missions :

- Organisation de l'accueil des navires ;
- Aide à la navigation (Pilotage des navires) ;
- Entreposage et livraison des marchandises à l'import et l'export ;
- Transit des passagers et de leurs véhicules ;
- Assurer une disponibilité permanente des moyens humains et matériels ;
- Améliorer en continu les performances (humaines, matérielles et budgétaires) ;
- Prise en charge des cargaisons à l'embarquement / débarquement et pré-évacuation ;
- Rentabiliser au maximum les infrastructures et superstructures portuaires ;
- Gérer les systèmes de management de la qualité, de l'environnement, de la santé et de sécurité.

1.3.2 Les activités de l'EPB

Les principales activités de l'EPB sont les suivantes :

- **Domaines et développement** : Cette activité a pour tâche, l'amodiation et location de terre pleins, hangar, bureaux, immeubles, installations et terrains à usage industriel ou commercial, enlèvement des déchets des navires et assainissement des postes à quai, Pesage des marchandises (pont bascule), ravitaillement des navires en eau potable.
- **Les opérations de manutention et d'acconage pour les marchandises** : Elles consistent en :
 1. Les opérations d'embarquement d'arrimage, de désarrimage et débarquement des marchandises ;
 2. La réception des marchandises ;
 3. Le transfert vers les aires d'entreposage, hangars et terre-pleins, ports secs ;
 4. La préservation ou la garde des marchandises sur terre-pleins ou hangar et hors port ;
 5. Les opérations de stockage temporaire des marchandises à l'import puis leur rechargement sur camion ou sur train à destination du client ;
 6. Pointage des marchandises.
- **Le remorquage** : Cette activité a pour mission le remorquage portuaire et hauturier, l'assistance sauvetage des navires et engins en péril, la location de remorqueurs, l'avitaillement et le transport de matériels, la protection de l'environnement et la lutte contre les incendies.

- **Le pilotage** : Il est assuré de jour comme de nuit par la Direction Capitainerie, il est obligatoire à l'entrée et à la sortie du navire et il consiste à assister le commandant dans la conduite de son navire à l'intérieur du port.
- **Le lamanage** : Il consiste à amarrer ou désamarrer le navire de son poste d'accostage.
- **Gestion du domaine portuaire** : Elle assure la gestion des amodiations et la location des terre-pleins, hangars, bureaux, immeubles, installations et terrains. Elle est également chargée de la réalisation des travaux de bâtiment et de génie civil et l'entretien courant des infrastructures et superstruct portuaire.
- **Aide à la navigation** : Elle est chargée de la sécurité portuaire, ainsi que de la bonne régulation des mouvements des navires, et la garantie de sauvegarde des ouvrages portuaires. Elle assure également les fonctions suivantes :
 1. **Pilotage** : Elle est chargée de la mise à disposition d'un pilote pour assister ou guider le commandant du navire dans les manœuvres d'entrée, de sortie. Cette activité s'accompagne généralement de pilotins, de canots et de remorqueurs.
 2. **Amarrage** : Cette appellation englobe l'amarrage et le désarrimage d'un navire. L'amarrage consiste à attacher et fixer le navire à quai une fois accosté pour le sécuriser. Cette opération se fait à l'aide d'un cordage spécifique du navire.
 3. **Accostage** : Le port met à la disposition de ces clients des quais d'accostage en fonction des caractéristiques techniques du navire à recevoir.

1.3.3 Les services offerts par l'EPB

Les services publics offerts par l'EPB se résument en :

- Sécurité et sûreté des biens et des personnes.
- Transférer les marchandises directement au port Sec de TIXTER².
- Assistance des passagers de la gare maritime.
- Bénéficier d'espaces pour l'entreposage des marchandises dans des hangars logistiques.
- Réaliser l'emportage et dépotage des conteneurs.
- Livrer les marchandises directement sur le lieu de production.

2. TIXTER est commune de la wilaya de Bordj-Bou-Arreidj

1.4 La jointure EPB-PORTEK

L'EPB est l'autorité portuaire qui gère le port de Béjaïa. 'PORTEK Systems and Equipment' est une filiale du groupe PORTEK qui est un opérateur de terminaux à conteneurs présent dans plusieurs ports dans le monde et également spécialisé dans les équipements portuaires. BMT(Bejaia Mediterranean Terminal), SPA est la jointe venture entre l'Entreprise Portuaire de Bejaia et Portek-Systems-Equipment³.

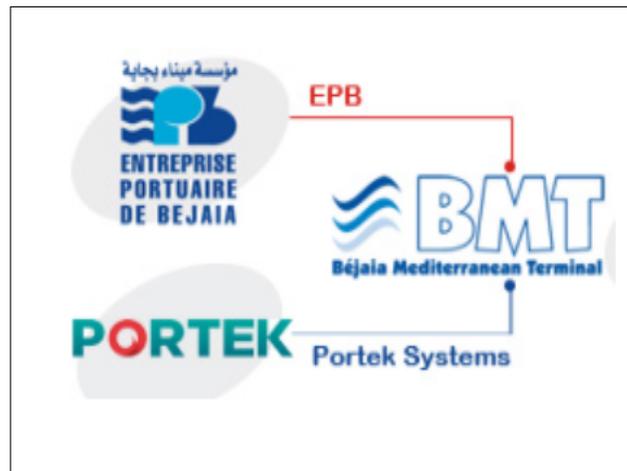


FIGURE 1.3 – Jointe-venture EPB-PORTEK.

1.5 Données techniques de L'EPB

1.5.1 L'accès du Port

Le port de Béjaïa est accessible par un canal extérieur large de 320 m et dragué à 13,50 m. Les navires de marchandises générales accèdent aux bassins par le biais de deux passes, respectivement la passe Abdelkader, large de 110 m et draguée à -12m et la passe de la Casbah, large de 125m et draguée à -12m.

1.5.2 Infrastructures portuaires

Dans ce qui suit on résume les infrastructures portuaires du port de Béjaïa :

- Le port de Béjaïa s'étale sur une superficie totale de 79 hectares ;
- La surface d'entreposage s'étend sur 422.000 m^2 couverts ;

3. Site internet : www.béjaïamed.com

- Il dispose de plus 3000 m de quai, répartis entre 16 postes à quais pour navires de marchandises générales ;
- 03 postes à quais pour navires pétroliers ;
- Un poste de tracteur RORO et remorques ;
- Un poste gazier.

1.5.3 Les bassins et les passes

Le port de Béjaïa est constitué de 3 bassins et 3 passes

•Les Bassins :

1. Avant port : surface 75 HA ;
2. Vieux port : surface 26 HA ;
3. Arrière port : surface 55 HA.

•Les Passes :

1. Passe d'entrée : longueur = 320 ml ;
2. Passe Abdelkader : longueur = 110 ml ;
3. Passe de la casbah : longueur = 125 ml.

1.5.4 Les ouvrages d'accostage : Quais

Les ouvrages d'accostage au niveau du port de Béjaïa sont résumés dans le tableau suivant :

Dénomination du Quai	N° des postes	Bassins	Profondeurs(m)	Longueurs
Port pétrolier	01 à 03	Avant port	10 à 13.5	710 ml
Quai Nord	06 à 07	Vieux port	08	75 ml
Quai Ouest	0 à 11	Vieux port	09	420 ml
Quai de la Casbah	12 à 13	Vieux port	08	257 ml
Quai de la Passe	14	Passe casbah	10	146 ml
Quai Sud Ouest	15 à 16	Arrière port	10.5	230 ml
Quai de la Gare	17 à 19	Arrière port	7.5 à 10.5	40 ml
Nouveau Quai	20 à 24	Arrière port	12	750 ml
Grande jetée du large	26	Arrière port	12.5	78 ml

1.5.5 Les principales installations du port

Les principales installations du port de Béjaia sont :

1. Le terminal à conteneurs d'une superficie de 8 hectares ;
2. Le terminal à bois d'une superficie de 07 hectares ;
3. Le terminal roulier d'une superficie de 13.000 m^2 ;
4. Un abri papier d'une superficie de 1200 m^2 ;
5. Un centre de transit des marchandises dangereuses de 7.000 m^2 ;
6. Des silos à céréales d'une capacité de 30.000 et 120.000 tonnes

1.5.6 Zones extra-portuaires

L'EPB dispose de deux terrains en dehors de l'enceinte portuaire pour y développer des ports-secs et les zones extra-portuaire :

- Le premier terrain, situé à 05 km du port dans la commune de IGHIL OUBEROUAK, est d'une superficie de 56.48 m^2 . Cette zone qui sera dédiée aux conteneurs est constituée de deux hangars et deux entrées principales.
- Le deuxième terrain, situé dans la commune de TIXTER dans la wilaya de Bordj-Bou-Argeridj est d'une superficie de 20 hectares répartie en deux zones : la zone A, dédiée au terminal ferroviaire et la zone de réception des conteneurs. Et la zone B, est un espace dédié pour le stockage logistique.

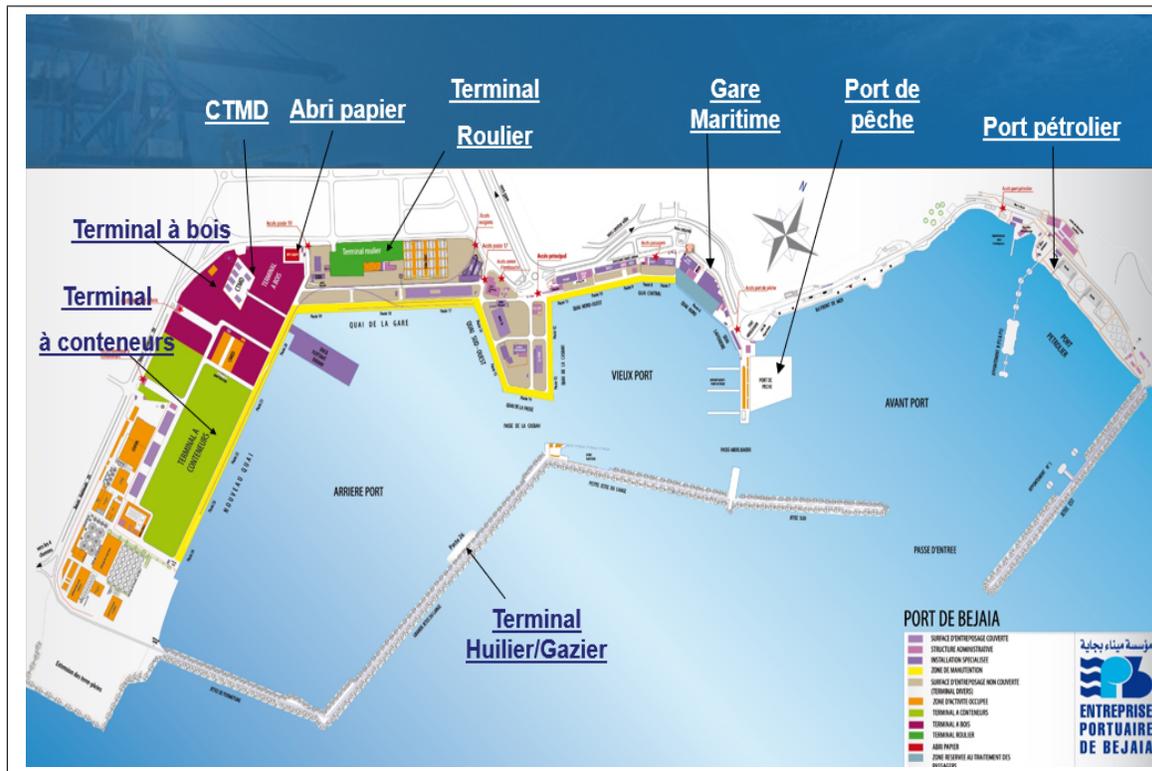


FIGURE 1.4 – Plan de masse de l'EPB.

1.6 Les surfaces d'entreposage

Les différentes surfaces d'entreposage à l'EPB sont :

- Un terminal à conteneurs (BMT) d'une capacité de stockage de 11300 EVP (emplacement 20 pieds).
- Surface non couverte : 400000 m^2 .
- Surface couverte : 17500 m^2 .
- Neuf hangars banals pour marchandises diverses.
- Six hangars et terres pleins formant le CTMD qui est cité parmi les réalisation phares de l'EPB.
- Un hangar abris scanner pour conteneurs.
- Un dock silo pour céréales d'une capacité de 30000 tonnes.
- Trois centres de stockage d'huiles de table.
- Une gare maritime et une deuxième gare maritime qui est en cour de réalisation.
- Un terminal à conteneurs.
- Deux enclos pour véhicules de tourisme.

1.7 Organisation des directions

L'EPB est structuré en huit directions opérationnelles et fonctionnelles :⁴

• **Direction fonctionnelle** : Elle intègre les directions suivantes :

1. Direction des Ressources Humaines (DRH).
2. Direction des Finances et de Comptabilité (DFC).
3. Direction Digitalisation et Numérique(DDN).
4. Direction d'Achat (DA).

• **Direction Opérationnelle** : Elle intègre les directions suivantes :

1. Direction Capitainerie (DC).
2. Direction Maintenance (DM).
3. Direction Exploitation (DE).
4. Direction Domaine et Développement (DDD).

De plus l'EPB a une direction générale adjointe, deux cellules, l'une prospective et marketing et l'autre projet d'exploitation commerciale de la gare maritime, une direction du système de contrôle interne et un département d'affaire juridique.

4. Source : Entreprise Portuaire de Béjaia(EPB).

1.8 Présentation des différentes directions

Dans cette section seront présentées les différentes directions qui gèrent l'EPB et seront illustrées par l'organigramme de la figure 1.8.

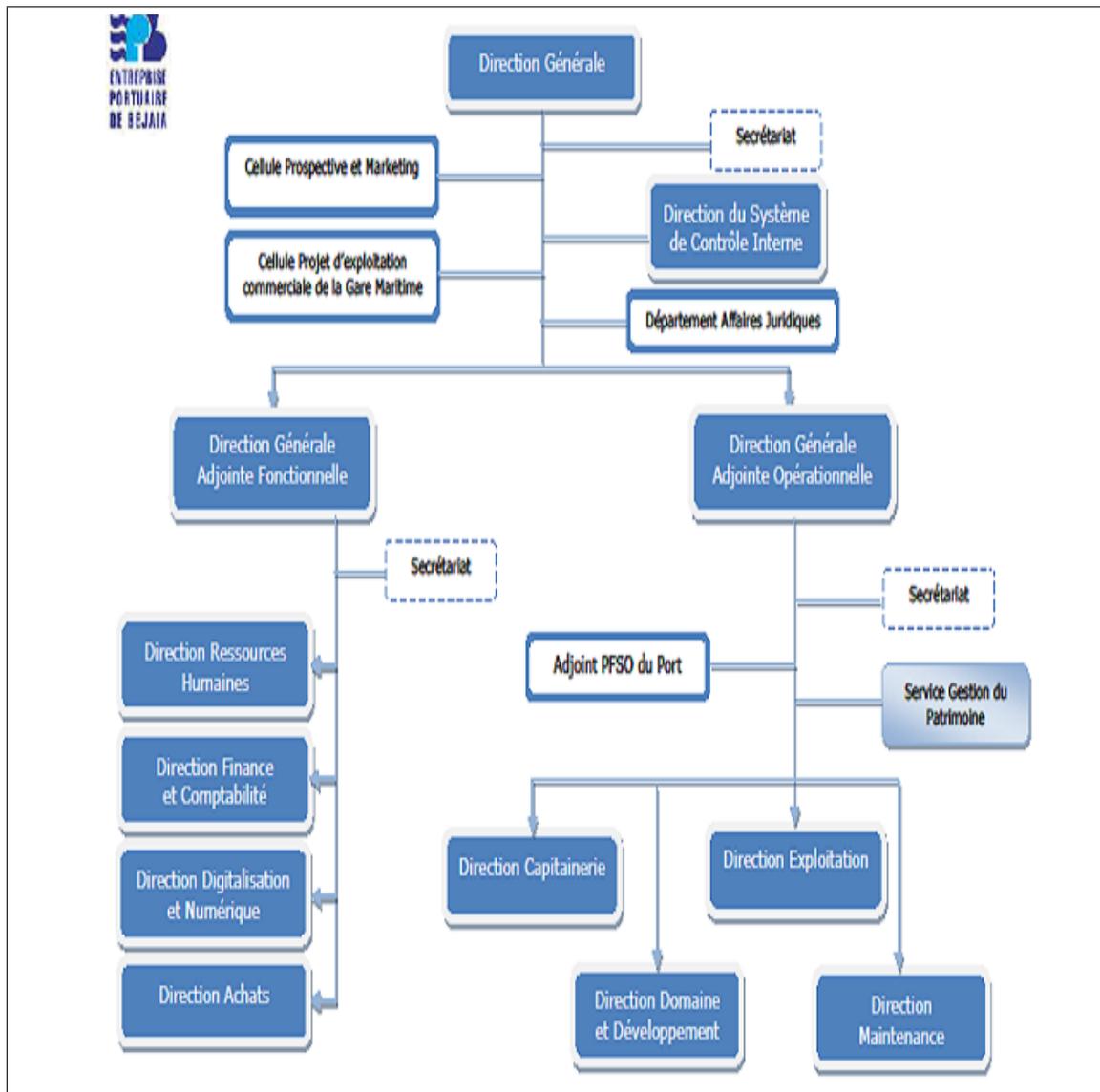


FIGURE 1.5 – Organigramme des différentes directions de l'EPB.

1.8.1 Direction des Ressources Humaines (DRH)

Cette direction est chargée d'exécuter toute la tâche liée à la gestion et au développement des structure et d'appliquer rigoureusement les lois de gestion et le

règlement intérieur de l'entreprise. Elle comporte trois (03) départements :

1. Département ressources humaines et développement ;
2. Département administration du personnel et moyens ;
3. Département qualité de vie au travail.

1.8.2 Direction Finance et Comptabilité (DFC)

La DFC est divisée en deux départements :

1. **Département comptabilité générale** : elle s'occupe de la comptabilité générale est analytique de l'entreprise.
2. **Département des finance** : elle s'assure le recouvrement des créances, de veiller au bon équilibre financier de l'entreprise ainsi que la prise en charge de la vérification des régularité des dépenses.

1.8.3 Direction Digitalisation et Numérique(DDN)

La Direction des systèmes d'information est, désormais, dénommée Direction Digitalisation et Numérique, le SI (Système d'Information) est le centre nerveux des entreprises, l'objectif principal de cette direction consiste à restituer l'information à la personne concernée sous une forme appropriée et au moment opportun. Elle se divise en 03 départements :

1. Département Numérique ;
2. Département Génie Logiciel ;
3. Département Infrastructures et Systèmes.

1.8.4 Direction d'Achat (DA)

Son rôle est de définir et mettre en œuvre la stratégie et la politique achats en accord avec l'environnement, la stratégie et les besoins de l'EPB. La DA comprend trois (03) départements :

1. Département Passations de Commandes ;
2. Département Passation de Marchés ;
3. Département Approvisionnements ;

ainsi que la cellule Planification et Performance.

1.8.5 Direction Capitainerie (DC)

La fusion des Directions Remorquage et Capitainerie en une seule direction dénommée "Direction Capitainerie" qui représente une structure opérationnelle très importante car c'est l'une des très importantes directions de l'EPB, divisée en deux départements :

1. **Le Département Police et Sécurité** : qui a comme principale mission l'application des règlements généraux en vigueur, dans les limites du port. Ce département est subdivisé à son tour en trois services : **service sécurité terrestre, service sécurité maritime et service sûreté interne** ;
2. **Le Département Aide à la Navigation** : chargé principalement de la régulation des mouvements des navires et leur prise en charge, ce département a pour mission : entretenir et maintenir le parc naval et fournir des prestations diverses aux navires, notamment le pilotage, l'amarrage et le remorquage.

► Direction Remorquage (DR)

Cette direction assure les opérations de remorquage des navires à l'entrée comme à la sortie, elle couvre diverses missions qui sont :

1. Le remorquage portuaire ;
2. L'assistance sauvetage des navires engins en péril ;
3. L'avitaillement et le transport des matériels.

1.8.6 Direction Maintenance (DM)

Cette direction s'occupe de la maintenance curative et préventive des engins, de leur sécurité et de leur fiabilité pendant leurs installations. Elle est aussi chargée du développement et l'extension des moyens et des équipements. La DM est subdivisée en deux départements :

1. Département Maintenance Engins ;
2. Département Maintenance Navale.

1.8.7 Direction Exploitation (DE)

La création de la " Direction Exploitation " par la fusion des directions de la Manutention et Acconage, les Zones Logistiques Extra portuaires et le Département Exploitation des Engins de la Direction Logistique. Cette direction est composée de cinq (05) départements :

1. Département Manutention et Acconage ;
2. Département Affectation de Moyens ;
3. Département Statistiques et Commercial ;
4. Département Logistique d'IGHIL OUBEROUAK ;
5. Département Logistique de TIXTER.

1.8.8 Direction Domaine et Développement (DDD)

Elle est subdivisée en deux départements :

1. **Département travaux** : chargé de l'entretien des infrastructures, de balayage des quais, d'enlèvement des déchets des navires et de l'alimentation de ces derniers en eau potable ;
2. **Département approvisionnement** : s'occupe de la gestion, du renouvellement des pièces de rechange, ainsi que de l'achat des matériaux et d'outils pour les travaux de manutention.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'Entreprise Portuaire de Béjaia (EPB) en générale en donnant : son historique, sa position géographique et ses différentes activités, missions et services. Cette présentation est donnée au lecteur de ce mémoire afin de bien comprendre les chapitres suivants. Comme on l'a souligné dans ce chapitre le port de Béjaia est le **1^{er} port algérien à avoir mis en exploitation un centre de transit des marchandises dangereuses** où, nous allons présenter les principales informations sur les marchandises dangereuses dans le chapitre suivant.

Chapitre 2

Présentation du Centre de transit des marchandises dangereuses

Introduction

Souvent cité parmi les réalisations phares de l'EPB, cet édifice, en confortant l'image de marque du port de Béjaïa, attire de nouveaux clients et un flux de plus en plus important de marchandises dangereuses.

Conçu à l'origine au profit des usagers du port, pour la réception des marchandises dangereuses en colis, l'installation actuelle n'est plus adaptée, ni en infrastructure ni en superstructures (moyens humains et matériels et équipements de sécurité) au nouveau mode de conditionnement qu'est le conteneur. En effet, avec la généralisation du conteneur et les quantités importantes des marchandises dangereuses conteneurisées, les matières traitées au port de Béjaïa, sont de plus en plus diverses et les risques liés à leurs manipulation et leurs stockage sont d'avantage plus élevés. Adapter le CTMD (Centre de Transit des Marchandises Dangereuses) en fonction de cette nouvelle donne, devient doublement nécessaire.

2.1 Centre de transit des marchandises dangereuses

C'est une installation portuaire destinée au stockage et à l'entreposage des marchandises dangereuses au port. Le stockage ou l'entreposage de ces marchandises au " C.T.M.D " appelé aussi parc à feu exige des règles d'exploitation et de sécurité édicté par les règlements internationaux et nationaux, il est en outre, régit par les procédures et le mode opératoire de l'entreprise portuaire de Béjaïa.

Le CTMD est situé à l'ouest du port de Béjaia "arrière port" à une distance de cent cinquante neuf " 159m " du poste N°20.

Le CTMD est installé sur une surface plate d'une superficie totale de six milles six cent dix mètres carrés " $6610m^2$ ", il comprend :

- Six hangars de $240m^2$ pour chacun ;
- Une surface d'entreposage à l'air libre "terre pleine" d'une superficie de $480m^2$;
- Un espace libre d'une superficie de $1960m^2$ qui permet la circulation des engins de manutention ;
- Une clôture de 205 m de hauteur au long tout le périmètre du CTMD ;
- Une loge de gardien et un bureau pour la surveillance du parc.

La FIGURE 2.1, illustre les dimensions du Centre de Transit des MD [NL16] :

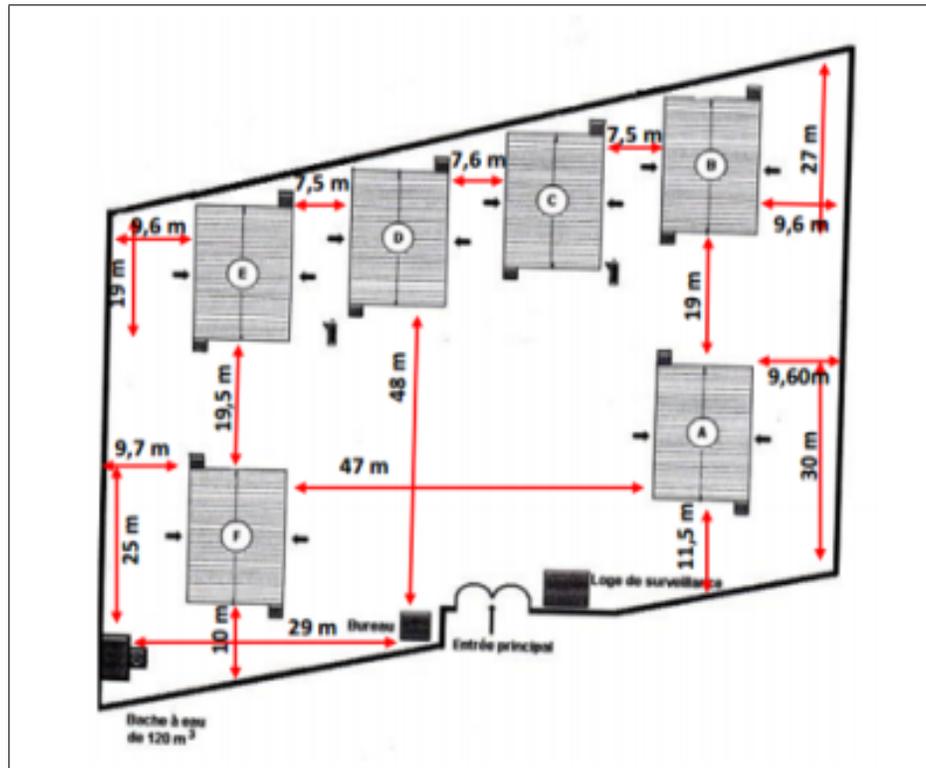


FIGURE 2.1 – Les dimensions du CTMD.

► Définition d'un conteneur

Un conteneur est une caisse métallique rectangulaire qui sert à emmagasiner des éléments qui doivent être transportés d'un endroit à un autre. Grâce à la standardisation, les dimensions des conteneurs sont réglementées par la norme ISO 668 : 1995. L'unité

de mesure de conteneur est l'Equivalent 20 Pieds (EVP), mais ils existent des conteneurs de 40 pieds (2 EVP), etc.

les figures suivantes représentent les dimensions des principaux conteneurs ainsi que leurs caractéristiques :

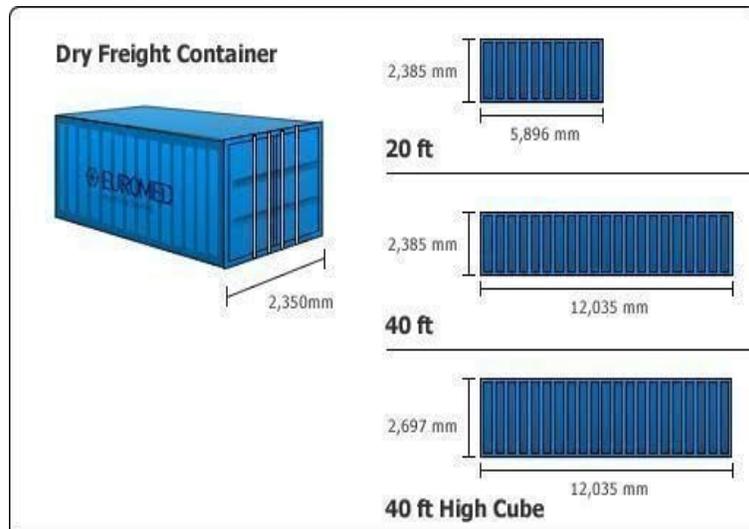


FIGURE 2.2 – Les dimensions d'un conteneur.

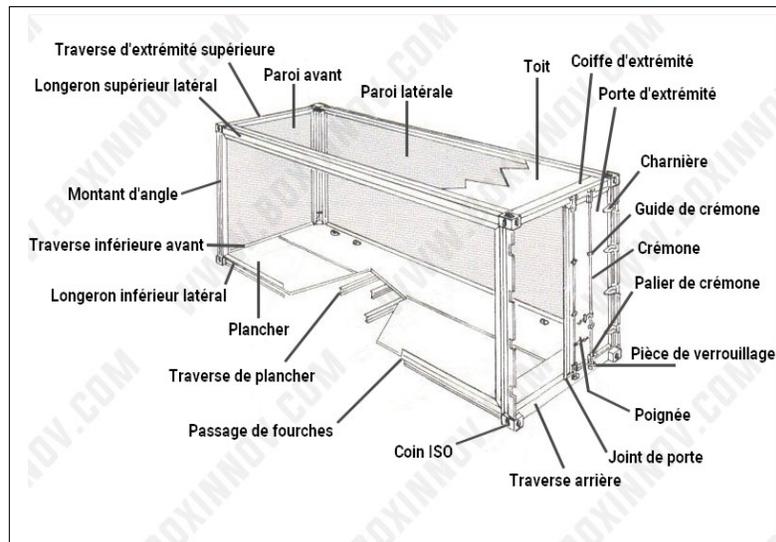


FIGURE 2.3 – Les caractéristiques des conteneurs et sa pièce identité.

► Steaker

Le steaker est l'engin le plus utilisé pour l'arrimage des conteneurs dans le CTMD, il est très utilisé au port. Cet engin fait 4.160 m en largeur par rapport au roues de derrières et un rayon de 12.50 m pour sa rotation.

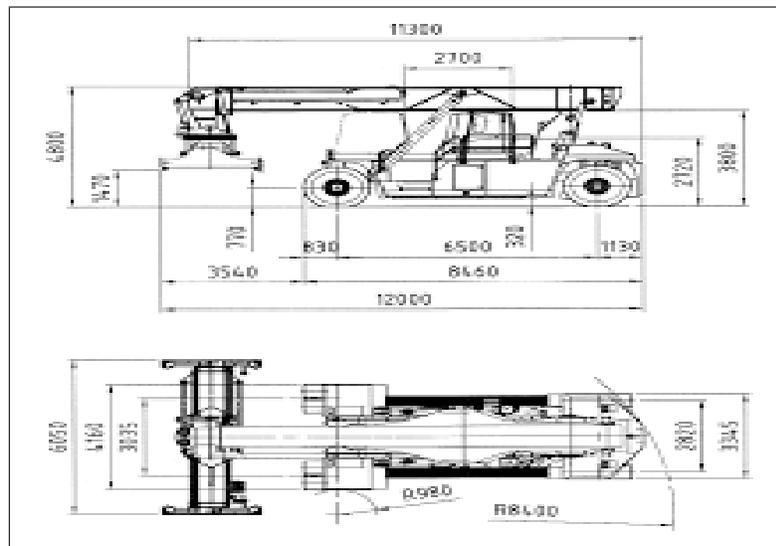


FIGURE 2.4 – Les dimensions du steacker.

2.2 Définition des marchandises dangereuses

Les marchandises dangereuses sont toutes les substances qui présentent un risque pour la sécurité des personnes et des biens. L'aspect dangereux de ces produits est dû à plusieurs faits, notamment la nature de leurs composition ou les propriétés de stockage, transport, chargement, déchargement et emballage. La spécificité de ces produits impose le respect d'une réglementation rigoureuse qui tient à mitiger le risque d'occurrence des incidents engendrés par leur manutention.

Tous les jours, une grande variété de marchandises dangereuses est transportée dans le monde, dont la majeure partie 80% est destinée à des usages industriels, car ces substances ont souvent une concentration et une agressivité supérieure à celle des usages domestiques, ces marchandises peuvent être transportées en forme liquide "ex : clore, propane, soude", ou sous forme solide "ex : explosifs, ou gazeuses, ex : butane...".

Les matières dangereuses sont classées par **numéro ONU** qui est un numéro d'identification à quatre chiffres établi par des experts de l'ONU. Ce numéro est également appelé "Code matière". Il doit être clairement affiché sur le véhicule de transport et sur l'emballage

du produit.

Pour le transport des marchandises dangereuses, il est réglementé par des conventions internationales qui sont :

- SOLAS 74 chapitre VII (transport des marchandises dangereuses) ;
- MARPOL 73/78 (protection du milieu marin) ;
- Le code IMDG le code Maritime International des Marchandises Dangereuses(2500 pages en 5 volumes) y compris l'amendement 25-89 qui traite des matières polluantes(entré en vigueur le 01.01.1993). Ce code est rendu obligatoire en Algérie par le décret numéro 90-79 de 27/02/1990 portant réglementation MD.

2.3 Classification des marchandises dangereuses

Les marchandises dangereuses sont identifiées en fonction de leurs classes respectives. Le code IMDG a établi une classification des marchandises dangereuses ainsi un classement des polluants marins destinés à assurer l'identification des matières admises au transport par voie maritime, les marchandises dangereuses sont réparties en neuf "9" classes de danger identiques à celles établies par les autres réglementations internationales "ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route), RID (marchandises dangereuses interdites au transport ferroviaire)"¹, comme suit :

- **Classe 1** : Les matières explosives (telles que nitro glycerine, la TNT,...), elles sont extrêmement sensibles aux chocs et aux frottements ce qui rend leurs manipulations délicate et critique ;
- **Classe 2** : Les Gaz : Il existe plusieurs variétés de gaz, telles que : les gaz non inflammables, les gaz inflammables, les gaz toxiques, les gaz comburants et les gaz corrosifs ;
- **Classe 3** : Liquides inflammables : cette classe comprend des liquides dégageant des vapeurs inflammables à une température égale à 61° c, elle comporte des liquides, des mélanges de liquides ou de liquides contenant des solides en solution ou en suspension (peinture, vernis, laque) ;
- **Classe 4** : Solides inflammables, subdivisée en trois sous classes :
 - **Sous-classe 4.1** : Solides inflammables, y compris les matières auto-réactives et les matières explosibles désensibilisées solides.
 - **Sous-classe 4.2** : Matières sujettes à l'inflammation spontanée.
 - **Sous-classe 4.3** : Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables.

1. Bejaia port infos. Centre de documentation de l'entreprise portuaire de Bejaia, 2021

- **Classe 5.1** : Matières comburantes ;
- **Classe 6.1** : Matières toxiques : ces matières sont susceptibles d’avoir des effets nocifs sur l’homme en cas d’absorption par voie vocale ;
- **Classe 7** : Matières radioactives ;
- **Classe 8** : Matière corrosives (ils font un échantillon obligatoire d’après ce qui est passé en Liban) ;
- **Classe 9** : Cette classe comprend des matières et des objets qui pour des raisons vitales ne relevant d’aucune classe à savoir (les aérosols, l’amiante, les allumettes de sûreté...).

2.4 Marchandises autorisées à transiter par le CTMD

Parmi les classes admissibles au CTMD du port de Béjaia, on distingue : la classe 3, classe 4, la sous classe 5 et 6, la classe 8 et la classe 9.

Il y’a lieu de signaler que les marchandises de la classe 2 ne sont autorisées à transiter par le CTMD uniquement qu’après l’obtention d’une dérogation du directeur ne dépassant pas les 48 heures de même pour la sous classe 2.2 (gaz non toxique ininflammable). Pour les autres classes (1 ; 2.1 ; 5.2 ; 6.2 et 7), elles ne sont débarquées qu’en sous palan c’est-à-dire elles ne sont pas autorisées au CTMD, elles sont débarquées dans le navire puis destinées directement pour son client car ces marchandises sont très dangereuses et le centre de transit des marchandises dangereuses ne possède plus des techniques et installations performantes pour gérer les risques de ces dernières².

Le transport des marchandises à l’intérieur du domaine public portuaire ne peut être fait qu’avec l’escorte du véhicule de sécurité.

2.5 La procédure de la réception des marchandises dangereuses

Avant l’obtention de l’accord du service concerné de l’autorité portuaire, les clients doivent :

- Déposer une lettre d’engagement destinée au port avant l’embarquement, stipulant que le client doit fournir les moyens nécessaires à l’évacuation en sous-palan de la marchandise

2. Le code maritime international des marchandises dangereuses. OMI, ed récapitulative

dangereuse dès l'accostage du navire (Voir FIGURE A.2).

- Dès l'arrivée du navire transportant la marchandise, le transitaire (commissionnaire en douane) fournit une déclaration afin que le service étudie la recevabilité de celle-ci (Voir FIGURE A.3).
- Le service fourni au transitaire, dans le cas de la conformité du contenu de la déclaration, un permis d'admission, exclusivement pour les marchandises des classes admises au Centre de Transit des Marchandises Dangereuses (Voir FIGURE A.4).
- Dès lors, le client est autorisé à entreposer son produit pour une durée de 8 jours.
- Dans le cas d'un délai dépassé, le service fait parvenir au transitaire des mises en demeure, l'invitant à venir régulariser la situation.

Les marchandises dangereuses peuvent être stockées à l'intérieur des hangars pour celles qui sont en colis ou à l'extérieur sur terre pleine pour celles qui sont conteneurisées et cela selon les règles de séparation des différentes classes et doivent être entreposées séparément.

2.6 Processus de Transit par le CTMD

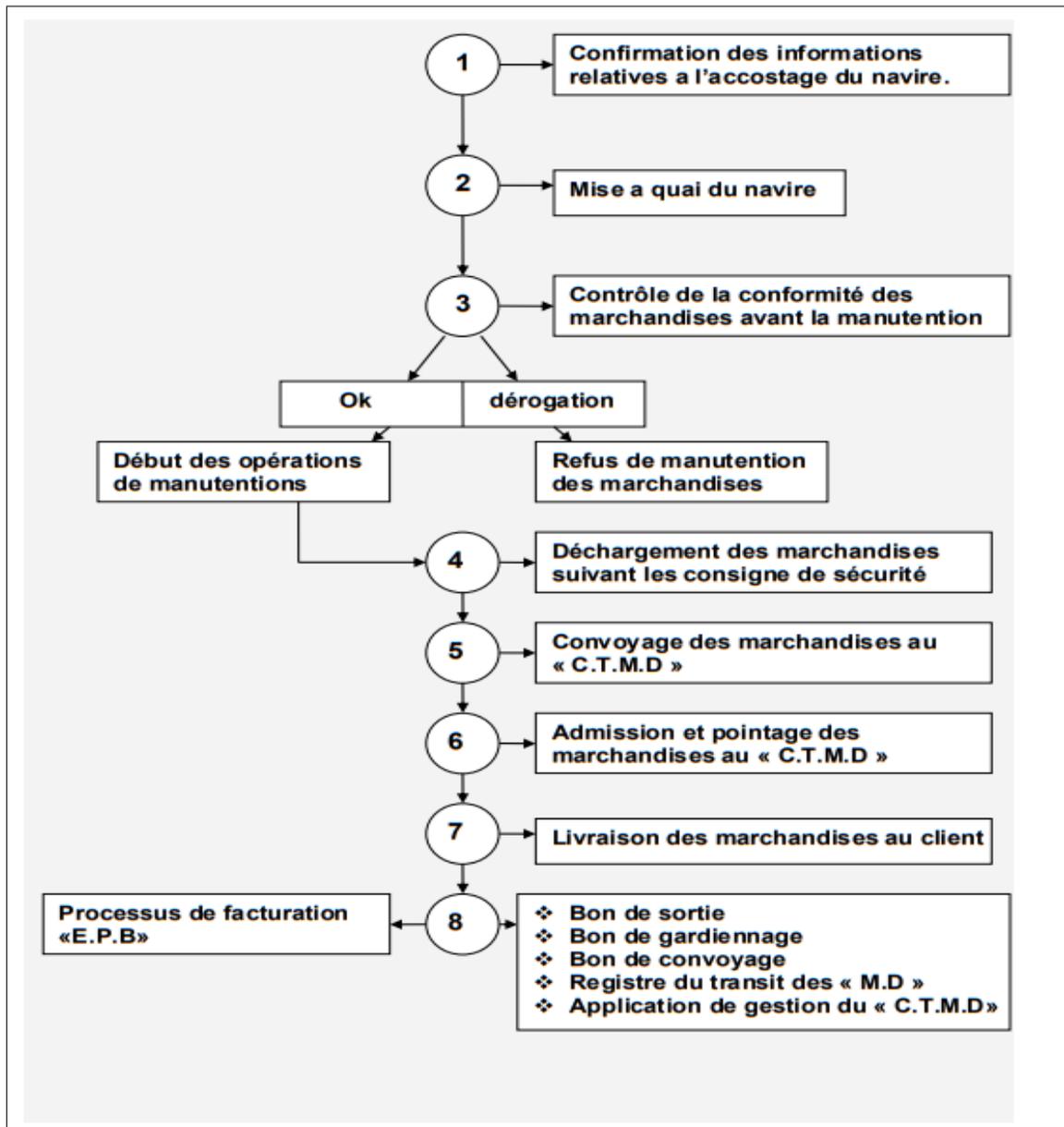


FIGURE 2.5 – Diagramme du Processus de Transit.

2.7 Entreposage et séparation entre les classes des marchandises dangereuses

Les marchandises classées comme dangereuses par le "Code Maritime International des Marchandises Dangereuses" (OMI), doivent être entreposées suivant la table de ségrégation utilisée au sein de l'entreprise portuaire de Béjaia présentée dans la FIGURE 2.6. Cette séparation répond à une obligation de sécurité de haut niveau. les différentes matières des diverses classes, en cas d'interactions, conduisent à des réactions risquées, produisant des incidents graves engendrant des pertes matériels et humaines³.

Classe		2.1	2.2	3	4.1	4.2	4.3	5.1	6.1	8	9
Gaz inflammables	2.1	x	x	2	1	2	x	2	x	1	x
Gaz non toxiques, inflammables	2.2	x	x	1	x	1	x	x	x	x	x
Liquides inflammables	3	2	1	x	x	2	1	2	x	x	x
Solides inflammables, y compris les matières auto réactives et les matières explosibles désensibilisées solides	4.1	1	x	x	x	1	x	1	x	1	x
Matières sujettes à l'inflammation spontanée	4.2	2	1	2	1	x	1	2	1	1	x
Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables	4.3	x	x	1	x	1	x	2	x	1	x
Matières comburantes (agents)	5.1	2	x	2	1	2	2	x	1	2	x
Matières toxiques	6.1	x	x	x	x	1	x	1	x	x	x
Matières corrosives	8	1	x	x	1	1	1	2	x	x	x
Matières et objets dangereux divers	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

FIGURE 2.6 – Table de ségrégation des classes.

La table de séparation originale se trouve dans l'annexe (Voir FIGURE A.1).

Les chiffres et les symboles correspondent aux expressions ci-après, qui sont définies

3. Bejaia port infos. Centre de documentation de l'entreprise portuaire de Bejaia, 2021

dans le code IMDG :

- X = "Entrepôt possible", signifie qu'il n'est pas demandé de laisser d'espace.
- 1 = "Loin de", signifie qu'il faut séparer les marchandises de manière à ce qu'elles ne puissent réagir l'une sur l'autre, cette distance est de 3 m en horizontal et en vertical.
- 2 = "Séparé de", signifie qu'il faut laisser 6 m en Horizontal.
- 3 = "Séparé par un compartiment ou une cale complet de", signifie qu'il faut séparer par 12 m.
- 4 = "Séparé longitudinalement par compartiment ou une cale intermédiaire complète de", c'est à dire 24 m au minimum.

► **Caractéristiques des classes admises :**

- Classe 2.2 : ne doit être mise près des classes 3 et 4.2.
- Classe 3 : doit être séparée de la classe 2.1 ; classe 4.2 et des comburants de la classe 5.1.
- Classe 4 : doit être séparée des mêmes classes que la classe 3.
- Classe 5.1 : doit être séparée de tout ce qui est inflammable, i.e. de la classe 2.1 ; classe 3 ; classe 4.2 ; classe 4.3 et des corrosifs.
- Classe 6.1 : ne doit pas être mise près de la classe 4 et la classe 5.1.
- Classe 8 : doit être loin des inflammables et séparée de la classe 5.1.
- Classe 9 : ne présente aucune interdiction particulière de séparation avec les autres classes, mais reste indépendante à la caractéristique du produit.

Ces caractéristiques ne font référence qu'aux risques les plus importants, ayant une grande probabilité d'engendrer des sinistres au sein du port de Béjaia.

2.8 Les risques identifiés au CTMD

Les marchandises dangereuses transitées par le port de Béjaia sont soumises à des risques multiples et parmi ses risques, on distingue :

- Risque d'intoxication des personnes suite à la réaction chimique des produits dangereux.
- Risque de brûlure (contact avec des produits corrosifs...).
- Risque de fuites des produits dangereux dans les conteneurs et peut se mettre en contact avec d'autres produits engendrant un danger d'explosion, d'intoxication et d'incendie.
- Risque de la pollution d'air par les fuites des gaz toxiques.
- Risque de la pollution d'eaux de mer par le déversement des produits dangereux.
- Risque d'incendie engendré par les sources de chaleur : briquets, cigarettes, lampes, foudre....

2.9 Les moyens mis en place par l'EPB pour la gestion des risques des MD

L'EPB a mis en place des mesures et des dispositifs pour faire face aux risques des MD qui sont :

- La mise en place d'un réseau anti-incendie avec des pieux et des bouchons.
- La mise en place d'un périmètre de sécurité avant le déchargement du navire transportant les hydrocarbures et un panneau d'indication.
- Des couloirs de sécurité pour permettre un accès rapide d'une ambulance et un camion anti-incendie en cas d'intervention au niveau du terminal à conteneur et du parc à feu.
- Le nettoyage des quais à la fin des opérations de manutention.
- La mise en place d'un plan de circulation dans le port.
- La mise en place d'un centre anti pollution pour la lutte contre la pollution marine par les hydrocarbures.
- Le convoyage des marchandises dangereuses lors de leur déplacement dans l'enceinte portuaire.
- L'exigence des tenues de sécurité spéciales pour l'intervention sur les feux provenant des produits dangereux.
- Des caniveaux indépendants pour récupérer les produits dangereux en cas de fuite ou déversement sur les terres pleines.

2.10 Les équipements de sécurité spécifiques au traitement des matières dangereuses

Les équipements de sécurité spécifiques au traitement des matières dangereuses sont :

- Combinaison anti-acide ;
- Masques anti-poussières ;
- Lunettes de protections ;
- Gants ;

et des outils et matériels (ex : sable) pour la récupération des déchets et des matières.

2.11 Tonnage transité par le CTMD

Nb : 99% des marchandises dangereuses transitées par le CTMD sont conteneurisées⁴ d'après les données récupérées au sein de la direction de la capitainerie de l'entreprise portuaire de Béjaïa.

- **Tonnage transité par le CTMD du 01/01/2016 au 31/12/2016**

Classe	Quantité reçue	TCS	Colis
Classe 2	847.90402	68	0
Classe 3	7494.14291	469	52
Classe 4.1	545.13	3	0
Classe 4.2	0	0	0
Classe 4.3	0	0	0
Classe 5.1	615.0638	36	0
Classe 6.1	2380.00116	119	3
Classe 8	20149.90414	875	7
Classe 9	9333.83615	565	43
Total	40873.365	2135	105

TABLE 2.1 – Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2016.

- **Tonnage transité par le CTMD du 01/01/2017 au 31/12/2017**

Classe	Quantité reçue	TCS	Colis
Classe 2	432.78859	37	0
Classe 3	6388.51925	401	70
Classe 4.1	58.325	3	0
Classe 4.2	74.28647	8	0
Classe 4.3	1.088	3	0
Classe 5.1	490.0474	55	5
Classe 6.1	925.75076	55	11
Classe 8	14292.13452	625	23
Classe 9	5302.18999	321	14
Total	27965.12998	1479	123

TABLE 2.2 – Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2017.

4. Rapport annuel et statistiques 2016,2017,2018,2019,2020

- Tonnage transité par le CTMD du 01/01/2018 au 31/12/2018

Classe	Quantité reçue	TCS	Colis
Classe 2	598.1986	58	0
Classe 3	5805.14597	353	40
Classe 4.1	0	0	0
Classe 4.2	38.5175	4	0
Classe 4.3	0	0	0
Classe 5.1	2205.89355	104	195
Classe 6.1	1802.06177	96	0
Classe 8	20858.61335	926	5
Classe 9	9691.41326	569	26
Total	40999.844	2110	266

TABLE 2.3 – Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2018.

- Tonnage transité par le CTMD du 01/01/2019 au 31/12/2019

Classe	Quantité reçue	TCS	Colis
Classe 2	917.6473	80	1
Classe 3	6471.02593	379	27
Classe 4.1	0	0	0
Classe 4.2	194.94275	15	0
Classe 4.3	0	0	0
Classe 5.1	2045.24445	92	4
Classe 6.1	201.27825	18	1
Classe 8	21269.98579	943	19
Classe 9	9730.78289	558	10
Total	40830.90737	2085	62

TABLE 2.4 – Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2019.

- Tonnage transité par le CTMD du 01/01/2020 au 31/12/2020

Classe	Quantité reçue	TCS	Colis
Classe 2	229.5643	23	0
Classe 3	7758.9937	448	18
Classe 4.1	9.575	1	0
Classe 4.2	194.56142	16	0
Classe 4.3	0	0	0
Classe 5.1	1282.23463	64	3
Classe 6.1	815.33335	50	3
Classe 8	25119.55446	1081	22
Classe 9	8374.57083	520	5
Total	43784.38769	2203	51

TABLE 2.5 – Le tonnage transité par le CTMD durant l'année 2020.

► Evolution du tonnage des marchandises dangereuses au CTMD

La figure suivante nous donne l'évolution du tonnage des marchandises dangereuses durant les années 2016, 2017, 2018, 2019 et 2020 (données récupérées au près de la direction de la capitainerie de L'EPB).

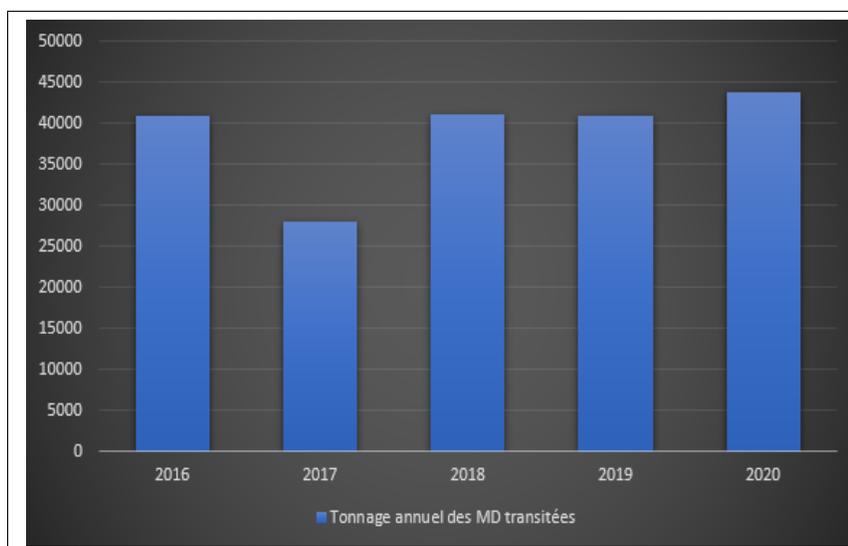


FIGURE 2.7 – Histogramme du tonnage des MD pendant les 5 dernières années.

- On remarque une forte hausse dans le trafic des marchandises dangereuses pendant les trois dernières années et une baisse significative pendant l'année 2017.

► Comparaison des différentes classes des MD

La figure suivante nous donne le pourcentage des différentes classes de MD durant les 5 dernières années.

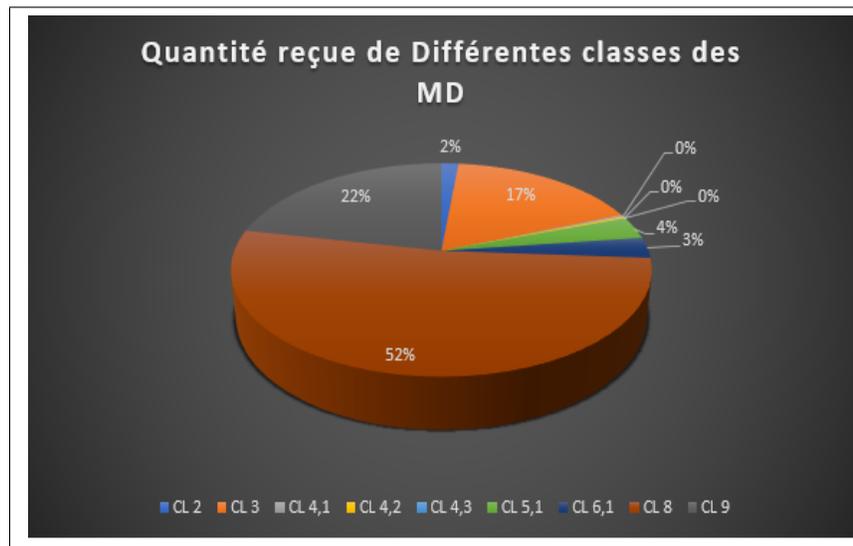


FIGURE 2.8 – Diagramme circulaire pourcentage de différentes classes des MD.

- On remarque que la classe 08 "matières corrosives" reste la classe des marchandises dangereuses la plus importante, suivie des classes 09 "matières dangereuses diverses" et la classe 03 "matières liquides inflammables".

Conclusion

Comme l'apport scientifique de ce mémoire est de proposer une application pour l'automatisation de l'entreposage des conteneurs au CTMD du port de Béjaïa, alors dans ce chapitre une présentation détaillée de ce centre a été présentée. En effet, nous avons énuméré les différentes classes des marchandises dangereuses transitées par ce centre et présenter le plan de séparation de ces MD admissible au CTMD pour éviter toute sorte de problème d'incendie et nous avons donné les statistiques relatives au trafic des marchandises dangereuses transitées par ce centre.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter l'outil de programmation adopté dans la conception de notre application.

Chapitre 3

Programmation Par Contraintes

Introduction

Une grande partie des problèmes de l'intelligence artificielle et de Recherche Opérationnelle peuvent être considérés comme des cas particuliers des problèmes de satisfaction de contraintes (CSP) [Nad90]. La Programmation Par Contraintes (PPC) est apparue dans les années 80. Elle rassemble les méthodes et les techniques utilisées pour la résolution de problèmes définis sur des domaines discrets et continus et s'applique plus particulièrement aux problèmes de satisfaction de contraintes (CSP). En PPC, un problème est défini par un ensemble de relations ou restrictions (contraintes) reliant un ensemble de variables. Trouver une solution à un problème en PPC consiste à instancier toutes les variables (leurs donner des valeurs) du problème en respectant la totalité des contraintes. La PPC est un paradigme de programmation qui repose sur la modélisation de problèmes de satisfaction de contraintes (CSP) [Mac77, Mon74].

Dans ce chapitre nous allons présenter le cadre formel des problèmes de satisfaction de contraintes et les principales méthodes de résolution utilisées en PPC, nécessaires à l'application qu'on a établi.

3.1 Définition de problème de satisfaction des contraintes (CSP)

Un problème de satisfaction des contrainte (CSP) est un triplet (X, D, C) composé d'un ensemble de variables, d'un ensemble de domaines de valeurs pour les variables et d'un ensemble de contraintes limitant chacune les affectations de valeur possibles pour un

sous-ensemble de variables.

3.1.1 Modélisation

Pour modéliser un problème sous la forme d'un CSP, il s'agit tout d'abord d'identifier l'ensemble des variables X (les inconnues du problème), ainsi que la fonction D qui associe à chaque variable de X son domaine (les valeurs qu'elle peut prendre). Il faut ensuite identifier les contraintes C entre les variables. Notons qu'à ce niveau, on ne se soucie pas de savoir comment résoudre le problème : on cherche simplement à le spécifier formellement. Cette phase de spécification est indispensable à tout processus de résolution de problème ; les CSPs fournissent un cadre structuré à cette formalisation. telles que :

- $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$: est un ensemble de variables ;
- $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$: est un ensemble de domaines finis tel que $X_k \in D_k, k \in \{1, \dots, n\}$;
- $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$: est un ensemble de contraintes, pour $i \in \{1, \dots, m\}$, C_i est une paire (X_i, R_i) telle que $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{ik}) \in X^k$ et $R_i \subseteq D_{i1} \times \dots \times D_{ik}$, k est appelée portée de C_i et R_i relation de C_i .

Les valeurs des variables peuvent ne pas être des entiers consécutifs ou des valeurs numériques [VH90, Bap98]. La portée d'une contrainte C est le nombre de variables $E \in X$ tel que les valeurs $v \in D$ pouvant être prises par E sont restreintes par C , (voir [DF02]). Une contrainte s'appliquant à seulement une variable est dite unaire. Une contrainte s'appliquant à deux variables est dite, quant à elle, une contrainte binaire. Un CSP peut être vu sous la forme d'un graphe de contraintes où les sommets représentent les variables et où les arêtes représentent les contraintes du problème. Ainsi, pour un graphe de contraintes binaires, un ensemble de contraintes $C_{ij} \in C$ est associé. Ces contraintes restreignent les valeurs pouvant être prises par les variables X_i et X_j simultanément [MCCJ94].

3.1.2 Notions de contrainte et d'affectation

Une solution d'un CSP est une affectation des variables qui est consistante avec les contraintes. Une affectation est un choix de variables du CSP [Vig17].

Définition 1 (Affectation)

Une affectation A pour un CSP (X, D, C) est une paire (X_A, V_A) telle que $X_A = \{x_{A_1}, \dots, x_{A_k}\} \subseteq X$ et $V_A \in D_{A_1} \times \dots \times D_{A_k}$. V_A est le k -uplet de valeurs affectées aux variables de X_A .

Définition 2 (Affectation totale et partielle)

Une affectation est dite totale si elle porte sur l'intégralité des variables du CSP, sinon elle est dite partielle :

- Une affectation A pour un CSP (X, D, C) est totale si $X_A = X$.
- Une affectation A pour un CSP (X, D, C) est partielle si $X_A \subset X$.

Définition 3 (Affectation consistante)

Une affectation est consistante avec une contrainte si sa projection sur les variables de la contrainte appartient à la projection de la relation associée à la contrainte sur les variables de l'affectation.

- Une affectation $A = (X_A, V_A)$ d'un CSP (X, D, C) est consistante avec une contrainte $C_i = (X_i, R_i) \in C$ telle que $X_i \subseteq X_A$ si et seulement si $X_i = X_A$ et $V_{A|X_i} \in R_i$.

3.1.3 Complexité d'un CSP

Le problème de satisfaction des contraintes appartient à la classe NP-Complet. Les problèmes NP-complets sont dans un sens "les plus importants" problèmes de NP. La signification pratique de la théorie de la NP-complétude est que pour résoudre les problèmes dans la classe NP-complet on a besoin d'un temps de calcul qui grandit exponentiellement avec la taille du problème. Pour une description plus détaillée de la théorie de la complexité, nous recommandons [TGR90].

3.2 Méthodes de résolution d'un CSP

Les algorithmes que nous allons étudier permettent de résoudre de façon générique n'importe quel CSP sur les domaines finis. il existe d'autres algorithmes plus spécifiques qui tirent parti de connaissances pour résoudre les CSPs. Ces algorithmes sont dits complets, dans le sens où l'on est certain de trouver une solutionsi le CSP est consistant. Cette propriété de complétude est fort intéressante dans la mesure où elle offre des garanties sur la qualité du résultat.

3.2.1 La méthode générer et tester

La méthode la plus triviale pour résoudre un CSP sur les domaines finis est appelée generate-and-test. Cette méthode consiste à énumérer puis vérifier la consistance de toutes les affectations totales possibles jusqu'à en trouver une qui satisfasse la totalité des contraintes. La vérification de la consistance n'est effectuée que lorsque toutes les variables

sont instanciées. Pour certains CSPs, le nombre des affectations totales peut être exponentiel, rendant cette méthode très peu efficace surtout si le problème est sur-contraint. L'algorithme récursif (Algo.1) suivant, illustre cette méthode. Pour un CSP (X, D, C) , l'algorithme tente d'étendre l'affectation partielle A (initialement vide) vers une affectation totale consistante.

Fonction GenereEtTeste($A, (X, D, C)$) retourne un booléen
Précondition : (X, D, C) = un CSP sur les domaines finis A = une affectation partielle pour (X, D, C) .
Postrelation : retourne vrai si l'affectation partielle A peut être étendue en une solution pour (X, D, C) , faux sinon.
début
Si toutes les variables de X sont affectées à une valeur dans A alors A est une affectation totale Si A est consistante alors A est une solution retourner vrai sinon retourner faux fin
Sinon A est une affectation partielle choisir une variable X_i de X qui n'est pas encore affectée à une valeur dans A pour toute valeur V_i appartenant à $D(X_i)$ faire si GenereEtTeste ($A \cup (X_i, V_i), (X, D, C)$) = vrai alors retourner vrai finpour retourner faux
Finsi
fin

TABLE 3.1 – L'algorithme générer et tester

3.2.2 La méthode Backtrack (Retour Arrière)

Le simple retour arrière (backtrack), tente d'étendre progressivement une affectation partielle en instanciant à chaque étape une nouvelle variable et en vérifiant au fur et à mesure sa consistance. Si la nouvelle affectation partielle ainsi obtenue est inconsistante, la dernière instantiation de variable (X_i) est remise en cause. Un mécanisme de retour arrière est alors établi pour revenir dans un état antérieur du problème et instancier X_i avec une autre valeur et donc explorer une autre branche. Cette méthode, illustrée dans l'Algorithme

2 suivant, est à la base de tous les algorithmes complets de résolution des CSP. Malgré que le simple retour arrière est nettement plus efficace que le generate-and-test, il reste très coûteux et peu adapté aux problèmes de grande taille :

Fonction simpleRetourArrière($A, (X, D, C)$) retourne un booléen
Précondition : (X, D, C) = un CSP sur les domaines finis A = une affectation partielle
Postrelation : retourne vrai si l'affectation partielle A peut être étendue en une solution pour (X, D, C) , faux sinon.
début
Si A n'est pas consistante alors retourner faux fini
Si toutes les variables de X sont affectées à une valeur dans A alors A est une affectation totale et consistante = une solution retourner vrai
Sinon A est une affectation partielle consistante choisir une variable X_i de X qui n'est pas encore affectée à une valeur dans A pour toute valeur V_i appartenant à $D(X_i)$ faire si simpleRetourArrière ($A \cup (X_i, V_i), (X, D, C)$) = vrai alors retourner vrai finpour retourner faux
Finsi
fin

TABLE 3.2 – L'algorithme de backtrack (retour-arrière)

3.2.3 La méthode d'anticipation

Un algorithme d'anticipation appelé Real Full Look Ahead en anglais [Gas77], est également utilisé pour prévenir au plus tôt les infaisabilités futures et donc accélérer l'algorithme de simple retour arrière, en ajoutant simplement une étape de filtrage à chaque fois qu'une valeur est affectée à une variable. On peut effectuer différents filtrages plus au moins forts, permettant d'établir différents niveaux de consistance locale (noeud, arc, chemin, ...).

Par exemple, la fonction récursive "anticipation/noeud($A, (X, D, C)$)" décrite ci-dessous effectue un filtrage simple qui établit à chaque étape la consistance de noeud. Dans cette fonction, A contient une affectation partielle consistante et (X, D, C) décrit le CSP à résoudre (au premier appel de cette fonction, l'affectation partielle A sera vide). La fonction retourne vrai si on peut étendre l'affectation partielle A en une affectation, totale consistante

(une solution), et faux sinon.

Fonction anticipation/noeud($A, (X, D, C)$) retourne un booléen
Précondition : (X, D, C) = un CSP sur les domaines finis A = une affectation partielle
Postrelation : retourne vrai si l'affectation partielle A peut être étendue en une solution pour (X, D, C) , faux sinon.
début
Si toutes les variables de X sont affectées à une valeur dans A alors A est une affectation totale et consistante = une solution retourner vrai
Sinon A est une affectation partielle consistante choisir une variable X_i de X qui n'est pas encore affectée à une valeur dans A pour toute valeur V_i appartenant à $D(X_i)$ faire filtrage des domaines par rapport a $(A \cup (X_i, V_i), (X, D, C))$ pour une variable X_j de X qui n'est pas encore affectée faire $D_{\text{filtre}}(X_j) \leftarrow (V_j) \text{ élément de } D(X_j) / (A \cup (X_i, V_i), (X_j, V_j))$ est consistante. si $D_{\text{filtre}}(X_j)$ est vide alors retourner faux finpour si anticipation/noeud($A \cup (X_i, V_i), (X, D_{\text{filtre}}, C)$) = vrai alors retourner vrai finpour retourner faux
Finsi
fin

TABLE 3.3 – L'algorithme d'anticipation (Look Ahead)

Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre les principes de la programmation par contraintes (PPC) et les problèmes de satisfaction des contraintes (CSP), on a désigné les différentes étapes pour modéliser un CSP et on a présenté trois algorithmes existant dans la littérature pour sa résolution et nous nous sommes intéressés sur les deux algorithmes (backtrack, générer et Tester) qu'on va utiliser dans notre application qui consiste à résoudre le problème de l'entreposage des conteneurs au niveau CTMD.

Chapitre 4

Modélisation et résolution du problème

Introduction

Comme l'objectif de ce mémoire est de proposer une application d'automatisation de l'entreposage des conteneurs des produits dangereux pour le CTMD, on a dû faire un petit état de l'art des travaux effectués au niveau de ce centre et c'est ainsi qu'on a décortiqué les deux mémoires qui ont traité cette problématique à savoir [TIR12, NL16]. Dans [TIR12], l'auteur a proposer une application d'automatisation de la capacité d'entreposage des conteneurs des MD au niveau du CTMD. Cependant, l'application proposée même si elle augmente la capacité d'entreposage mais son application réelle au niveau du CTMD est impossible à réaliser puisque le plan d'entreposage proposé ne tient pas compte des consignes de sécurité, à savoir les distances nécessaires pour le déplacement du steaker. Dans [NL16], les auteurs ont proposé un plan qui minimise le nombre de zones d'entreposage et qui gère l'emplacement des conteneurs de MD et ce en utilisant la théorie des graphes. Le travail réalisé dans ce mémoire même si il permet de minimiser le nombre de zones mais l'augmentation de la capacité d'entreposage n'a pas été prise en compte. Pour remédier aux erreurs constatées dans ces deux mémoires, dans ce mémoire on propose une application d'automatisation d'entreposage qui tient compte des consignes de sécurité, qui minimise les zones d'entreposage tout en maximisant la capacité des zones. Ainsi dans ce chapitre nous allons donner notre modèle mathématique établi qui présentera les principaux mouvements des conteneurs dans le CTMD ce modèle sera basé sur la méthode de la satisfaction des contraintes.

4.1 Modélisation du problème

Comme on l'a souligné dans l'introduction précédente, la méthode mathématique adoptée dans notre application est celle de Satisfaction Par Contraintes donc pour présenter cette application il y'a lieu en premier lieu de définir le truplet (X, D, C) , où :

- X :l'ensemble des Variables ;
- D :l'ensemble des Domaines finis ;
- C :L'ensemble des Contraintes.

4.1.1 Ensemble des variables

En tenant en compte de la table de ségrégation et des données statistique déjà vues dans le chapitre 2, nous avons pu subdiviser le centre de transit des marchandises dangereuses en sept (7) zones de différentes classes qui sont :

Ω : L'ensemble des zones d'entreposage dans le CTMD.

$$\Omega = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7\}$$

Où, chaque zone comprend une ou deux classes différentes telles que :

- $Z_1 = \{\text{Classe 8}\}$;
- $Z_2 = \{\text{Classes 9, 4.2}\}$;
- $Z_3 = \{\text{Classe 3}\}$;
- $Z_4 = \{\text{Classe 6.1}\}$;
- $Z_5 = \{\text{Classe 5.1}\}$;
- $Z_6 = \{\text{Classes 4.1, 4.3}\}$;
- $Z_7 = \{\text{Classe 2.1, 2.2 (Classe 2)}\}$.

Chaque zone Z_i , $i = 1, \dots, 7$, contient un nombre fini S_{Z_i} de cellules k_j , où chaque cellule k_j , $j = 1, \dots, S_{Z_i}$ contient deux positions possibles, (P_1, P_2) .

D'après le plan d'entreposage que nous avons proposé (voir FIGURE 4.1), la capacité de stockage totale qu'on peut entreposer dans le parc à feu (CTMD) est égale à 200 EVP (Emplacement de Vingt Pieds), où chaque zone à une capacité propre à elle, c'est à dire :

$$S_{Z_i} = (54, 40, 36, 20, 22, 12, 16).$$

► On note l'ensemble des classes : $C = (2.1, 2.2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 6.1, 8, 9)$, pour simplifier les notations, on note cet ensemble de classes par $C' = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)$.

► On note un conteneur par "TC" et comme on a deux types de conteneurs, alors chacun

d'eux sera noté par :

$$T = \begin{cases} TC_1, & \text{si } TC \text{ de type1 (TC de vingt pieds)}; \\ TC_2, & \text{si } TC \text{ de type2 (TC de quarente pieds)}. \end{cases}$$

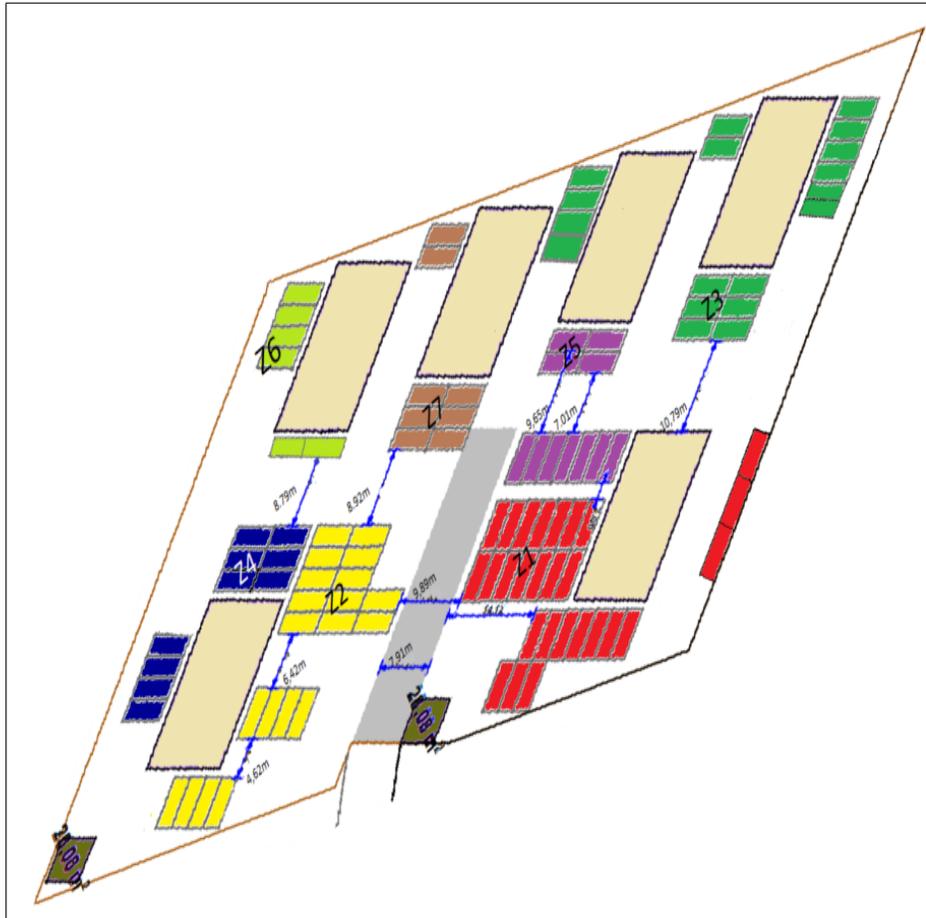


FIGURE 4.1 – Plan d'entrepôt.

Ce plan on l'a proposé en tenant compte de(s) :

1. la contrainte de la manipulation des conteneurs qui se fait avec des engins (Steakers) de dimensions importantes qui exigent des couloirs pour la circulation utilisés pour l'entrepôt;
2. les consignes de sécurité;
3. les données statistiques récupérées au près de la direction de la capitainerie.

► On a pris les dimensions exactes du conteneur de vingt pieds comme dimension d'un emplacement dans toutes les zones.

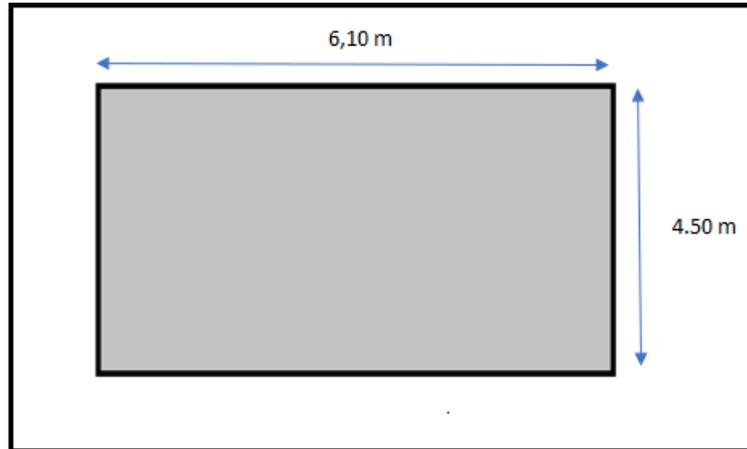


FIGURE 4.2 – Les dimensions d'un emplacement d'un conteneur.

► On définit par ailleurs :

- E_{vide} : l'ensemble des emplacements vides qui sont susceptibles de recevoir un TC dans chaque zone i , $i = 1, \dots, 7$.
- E_{occ} : l'ensemble des emplacements occupés par des TC's.

Ces deux ensembles E_{vide} et E_{occ} se mettent à jour après chaque opération d'entrée ou de sortie de TC's.

► L'ensemble des variables X est :

$$X = \{TC, C', C_{TC}, C_p, T, Nb_1, Nb_2, E_{vide}, E_{occ}, Z_i, k_j, P\}.$$

avec les variables non déjà définies qui sont les suivantes :

- C_{TC} : la classe des conteneurs arrivés ou sortis ;
- C_p : la classe de conteneur déjà placé ;
- Nb_1 : nombre de TC de type 1 arrivés ou sortis ;
- Nb_2 : nombre de TC de type 2 arrivés ou sortis.

► Les variables d'états sont définies comme suit :

$$E_{pkz} = \begin{cases} 1, & \text{si le conteneur est de type 1 (ou type 2) de classe } C \text{ est placé dans la position } P \\ & \text{de la cellule } k_j \text{ de la zone } Z_i; \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

4.1.2 Ensemble des domaines

Après avoir défini l'ensemble des variables X , on va définir leurs ensembles de domaines D qui est :

$$D = \{D_{TC}, D_{C'}, D_{C_{TC}}, D_{C_p}, D_T, D_{Nb_1}, D_{Nb_2}, D_{E_{vide}}, D_{E_{occ}}, D_{Z_i}, D_{k_j}, D_P\}.$$

Tels que :

- $D_T : \{1, 2\}$;
- $D_{C'} : \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$;
- $D_{C_{TC}} : \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$;
- $D_{C_p} : \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$;
- $D_{Nb_1} : \overline{1, 200}$;
- $D_{Z_i} : \overline{1, 7}$;
- $D_{k_j} : \overline{1, S_{Z_i}}$;
- $D_P : \{1, 2\}$.

4.1.3 Ensemble des contraintes

► L'ensemble des contraintes qui lient les variables est :

$$C = (C_{T,C}, C_{C,Z_i}, C_{T,C,Z_i,k_j,P}).$$

► Les contraintes logiques sont :

1. Un TC de 20 pieds occupe un emplacement et un TC de 40 pieds occupe deux emplacements, ce qu'on peut formuler par :

$$\sum_{Z=1}^{Z=7} \sum_{K=1}^{K=S_{Z_i}} \sum_{P=1}^{P=2} E_{P,k_j,Z_i} = \begin{cases} 1, & \text{si } T = TC_1; \\ 2, & \text{si } T = TC_2. \end{cases} \quad (4.1)$$

2. On peut gerber un conteneur de 40 pieds sur deux conteneurs de 20 pieds, mais on peut pas faire l'inverse car on risque de défaire le 40 pieds, ceci se formule par :

$$\sum_{Z=1}^{Z=7} \sum_{K=1}^{K=S_{Z_i}} (2TC_1 * E_{P_1,k_j,Z_i} \wedge 1TC_2 * E_{P_2,k_j,Z_i}) = 1. \quad (4.2)$$

► Les contraintes de ségrégation :

Afin d'assurer le maximum de sûreté et de sécurité, on a tenu compte des contraintes de ségrégation qui sont définies dans la table de séparation.

La table de séparation représente les dimensions de séparation des MD en mètre, qui ont été remplacées par le nombre d'emplacement, par exemple la valuation "1" est équivalente à un emplacement et "2" est équivalente à deux emplacements.

Soit la matrice de séparation des classes (voir TABLE 4.1) qui résume le nombre d'emplacements qui doivent séparer les marchandises des différentes classes.

c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	2	1	2	0	2	0	1	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	2	1	2	0	0	0
4	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
5	2	1	2	1	0	1	2	1	1	0
6	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0
7	2	0	2	1	2	2	0	1	2	0
8	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
9	1	0	0	1	1	1	2	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLE 4.1 – Table de séparation des marchandises dangereuses.

De cette table, on a défini trois ensembles de compatibilité ou d'incompatibilité :

- C_{comp} : est l'ensemble des classes compatibles avec la classe C_p ;
- C_{inco_1} : est l'ensemble des classes incompatibles de degré 1, qui signifie qu'on doit laisser un emplacement avec la classe C_p ;
- C_{inco_2} : est l'ensemble des classes incompatibles de degré 2, qui signifie qu'on doit laisser deux emplacements avec la classe C_p .

Ainsi, on définit les contraintes de ségrégation suivantes :

1. Si l'emplacement E_{1,k_j,Z_i} est occupé par un TC de classe C' alors on ne pourra affecter à l'emplacement E_{2,k_j,Z_i} que des TC de classe C_{comp} , ce qui se formule par :

$$(E_{1,k_j,Z_i} \wedge E_{2,k_j,Z_i}) = 1 \implies (C_p \in C_{Comp}) \quad (4.3)$$

2. La valuation '0' dans la TABLE4.1 veut dire que l'affectation est permise là où il y a des emplacements vides sans ségrégation :

$$((E_{P,k_j,Z_i} = 1) \wedge (C_{TC} \in C_{Comp})) \implies (E_{P+1,k_j,Z_i}) \vee (E_{P,k_j+1,Z_i}) = 1. \quad (4.4)$$

3. La valuation '1' veut dire qu'il faut laisser 'un emplacement' vide pour mettre le TC de classe C' :

$$((E_{P,k_j,Z_i} = 1) \wedge (C_{TC} \in C_{inco1})) \implies (E_{P+1,k_j,Z_i}) \vee (E_{P,k_j+1,Z_i} \vee E_{P,K,Z+1}) = 0. \quad (4.5)$$

$$((E_{P,k_j,Z_i} = 1) \wedge (C_{TC} \in C_{inco1})) \implies (E_{P,K_j+2,Z_i}) \wedge (E_{P,k_j,Z_i+2}) = 1. \quad (4.6)$$

Ces deux dernières formules sont identiques. La première signifie qu'on ne doit pas mettre les conteneurs ensembles, c'est à dire on ne peut pas mettre en 2^{ème} position, ni dans la cellule suivante, ni dans la zone suivante ce qui est logiquement identique à dire que la deuxième formule signifie qu'on doit laisser un emplacement vide entre les cellules et les zones.

4. La valuation '2' veut dire qu'il faut laisser 'deux emplacements' vides pour mettre le TC de classe C' :

$$\left((E_{P,k_j,Z_i} = 1) \quad \wedge \quad (C_{TC} \in C_{inco2}) \right) \quad \Downarrow \quad (4.7)$$

$$(E_{P+1,k_j,Z_i}) \vee (E_{P,k_j+1,Z_i}) \vee (E_{P,K_i,Z_i+1}) \vee (E_{P,k_j+2,Z_i}) \vee (E_{P,k_j,Z_i+2}) = 0.$$

$$((E_{P,k_j,Z_i} = 1) \wedge (C_{TC} \in C_{inco2})) \implies (E_{P,k_j+3,Z_i}) \wedge (E_{P,k_j,Z_i+3}) = 1 \quad (4.8)$$

$$P = 1, 2, k_j = \overline{1, S_{Z_i}}, Z_i = \overline{1, 7}.$$

Même explication par rapport à la valuation '1', Mais, en valuation '2', i.e. on doit laisser deux emplacements vides.

4.2 Résolution du problème

En tenant compte de toutes les contraintes décrites précédemment, on a construit le programme de notre application d'affectation des conteneurs des MD au niveau du CTMD nommée "**Automatisation-entrepasage-TC-CTMD-EPB**".

L'organigramme suivant illustre les différentes fonctions principales de notre application "**Automatisation-entrepasage-TC-CTMD-EPB**" :

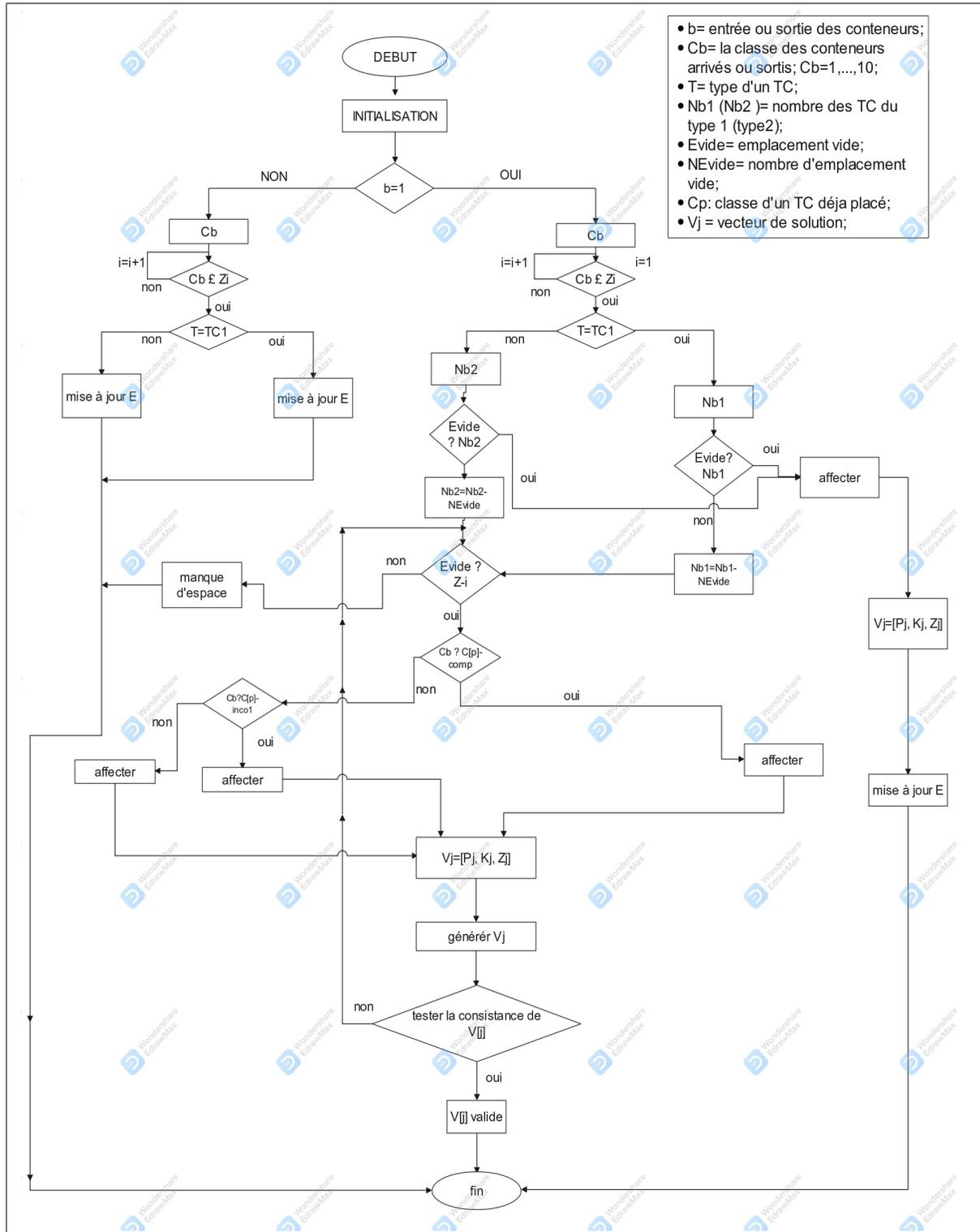


FIGURE 4.3 – Les différentes fonctions principales de l’application ”Automatisation-entrepotage-TC-CTMD-EPB”.

4.2.1 Quelques exemples d'application

Comme vous pouvez le constater dans les étapes de la construction de notre application "Automatisation-entreposage-TC-CTMD-EPB", la résolution de cette dernière nous permet de trouver un vecteur $V(j) = (Z_i, k_j, P)$, qui représente la zone qu'on doit affecter au TC arrivé, ainsi que sa cellule et sa position. Cette application ne tient pas compte des TC's frigorifiques puisque leur position est fixe, ils doivent se brancher à la prise électrique. Par ailleurs la matrice d'entreposage de MD initialement on l'a considérée vide pour laisser la main à l'utilisateur de cette application de donner l'état du CTMD à l'instant où il va l'appliquer et il s'intéressera à la récupération des emplacements et la mise à jour des deux ensembles E_{vide} et E_{occ} après l'affectation des TCs arrivés ou sortis. Dans cette section on va se donner quelques exemples illustratifs de situations qui se sont présentées dans le CTMD durant les deux mois "avril et mai" de l'année 2021. En effet, d'après les données récupérées au près de la direction de la capitainerie de L'EPB à propos des conteneurs arrivés durant ces deux mois, nous avons considéré ses deux mois comme un exemple de situation réelle de l'état du CTMD.

Exemple 1 :

En premier lieu on a déclaré la matrice initiale d'entreposage du CTMD qui décrit la situation du mois d'avril et qui stipule que le CTMD comporte 86 conteneurs de 20 pieds : 22 TCs de classe 3 est placé dans la zone (Z3), 33 TCs de classe 8 est placé dans la zone (Z1), 21 TCs de classe 9 est placé dans la zone (Z2), 6 TCs de classe 5.1 est placé dans la zone (Z5), un TC de classe 6.1 est placé dans la zone (Z5) et 3 TCs de classe 2 est placé dans la zone (Z7) .

► Du 01 mai jusqu'à 09 mai 23 TCs de type 1 (20pieds) sont arrivés, tels que : 11 TCs de classe 3, 3 TCs de classe 6.1, 4 TCs de classe 8 et 5 TCs de classe 9. L'entreposage établi par notre application est illustré dans la figure suivante :

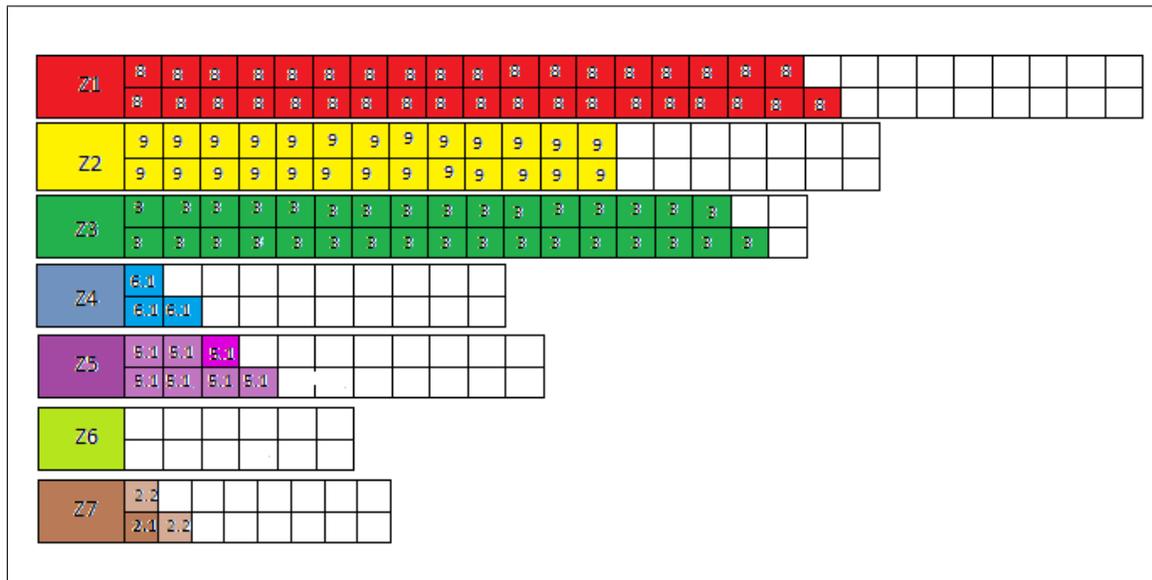


FIGURE 4.4 – Exemple 1 : La situation après l'affectation des TCs arrivés entre le 01 et le 09 mai.

$V(1)=(Z=3, k=12, P=1)$; $V(12)=(Z=4, k=1, P=1)$; $V(23)=(Z=2, k=13, P=2)$.

$V(2)=(Z=3, k=12, P=2)$; $V(13)=(Z=4, k=1, P=2)$;

$V(3)=(Z=3, k=13, P=1)$; $V(14)=(Z=4, k=2, P=1)$;

$V(4)=(Z=3, k=13, P=2)$; $V(15)=(Z=1, k=17, P=2)$;

$V(5)=(Z=3, k=14, P=1)$; $V(16)=(Z=1, k=18, P=1)$;

$V(6)=(Z=3, k=14, P=2)$; $V(17)=(Z=1, k=18, P=2)$;

$V(7)=(Z=3, k=15, P=1)$; $V(18)=(Z=1, k=19, P=1)$;

$V(8)=(Z=3, k=15, P=2)$; $V(19)=(Z=2, k=11, P=2)$;

$V(9)=(Z=3, k=16, P=1)$; $V(20)=(Z=2, k=12, P=1)$;

$V(10)=(Z=3, k=16, P=2)$; $V(21)=(Z=2, k=12, P=2)$;

$V(11)=(Z=3, k=17, P=1)$; $V(22)=(Z=2, k=13, P=1)$;

Exemple 2 :

► Cet exemple n'est pas une situation réelle décrite d'après les données de la direction de la capitainerie mais c'est un exemple qu'on a construit nous même pour décrire une situation de saturation d'une zone et ce afin d'illustrer notre application dans le cas d'utilisation de la table de ségrégation (situation difficile à rencontrer dans notre application puisque la manière avec laquelle on a subdivisé les zones du CTMD est basée sur la table de ségrégation et les données statistiques recueillies sur un historique de cinq ans).

Ainsi, on suppose l'arrivée de 18 TCs, tels que : 5 TCs de type1 (20 pieds) de classe 2.2, 6 TCs de type2 (40 pieds) de classe 2.1, 2 TCs de type1 (20 pieds) de classe 4.1 et 5 TCs de type2 (40 pieds) de classe 9 sachant qu'il y'a eux de sortie de 3 TCs de type 1 de classe

3. L'entreposage établi par notre application est illustré dans la figure suivante :



FIGURE 4.5 – Exemple 2 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.

- $V(1)=(Z=7, k=2, P=2)$;
 $V(2)=(Z=7, k=3, P=1)$;
 $V(3)=(Z=7, k=3, P=2)$;
 $V(4)=(Z=7, k=4, P=1)$;
 $V(5)=(Z=7, k=4, P=2)$;
 $V(6)=(Z=7, k=5, P=1, Z=7, k=6, P=1)$;
 $V(7)=(Z=7, k=5, P=2, Z=7, k=6, P=2)$;
 $V(8)=(Z=7, k=6, P=1, Z=7, k=7, P=1)$;
 $V(9)=(Z=7, k=6, P=2, Z=7, k=7, P=2)$;
 $V(10)=(Z=1, k=21, P=1, Z=1, k=22, P=1)$;
 $V(11)=(Z=1, k=21, P=2, Z=1, k=22, P=2)$;
 $V(12)=(Z=6, k=1, P=1)$;
 $V(13)=(Z=6, k=1, P=2)$;
 $V(14)=(Z=2, k=14, P=1, Z=2, k=15, P=1)$;
 $V(15)=(Z=2, k=14, P=2, Z=2, k=15, P=2)$;
 $V(16)=(Z=2, k=16, P=1, Z=2, k=17, P=1)$;
 $V(17)=(Z=2, k=16, P=2, Z=2, k=17, P=2)$;
 $V(18)=(Z=2, k=18, P=1, Z=2, k=19, P=2)$.

Exemple 3 :

► Supposons par la suite, l'arrivée du 28 TCs tels que; 5 TCs de type 1 (20pieds) de classe 8, 2 TCs du type 1 et un tc du type 2 de classe 9 , 15 TCs du type 1 de classe 6.1, un TC du type 2 et 4 TCs du type 1 de classe 4.1 et TCs de classe 9. L'entreposage établi par notre application est illustré dans la figure suivante :

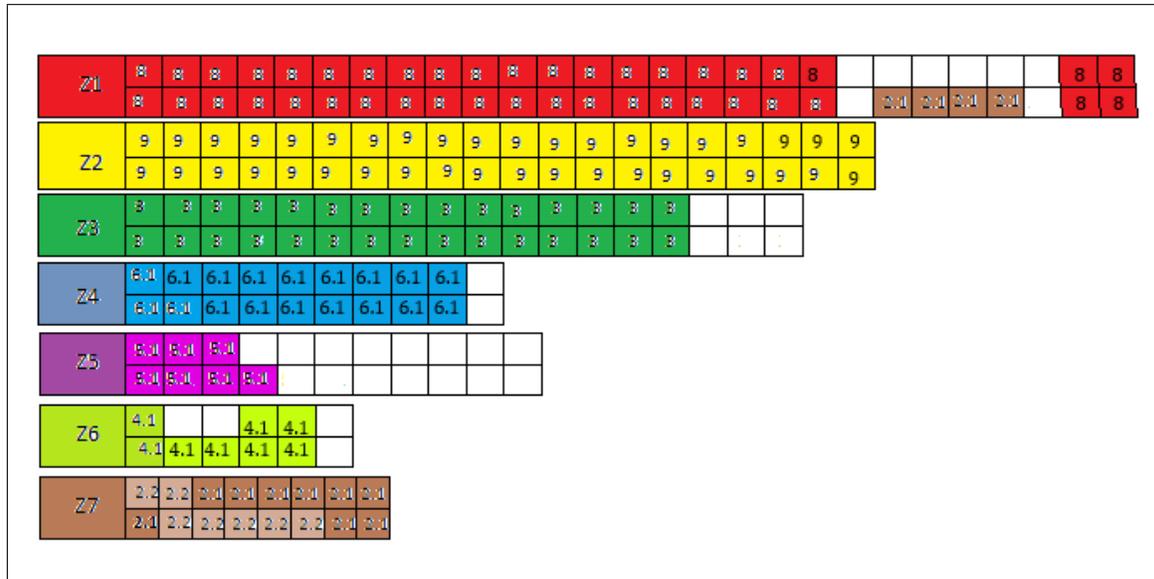


FIGURE 4.6 – Exemple 3 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.

- $V(1)=(Z=1, k=19, P=2)$; $V(12)=(Z=4, k=4, P=1)$; $V(23)=(Z=4,k=9, P=2)$;
- $V(2)=(Z=1, k=26, P=1)$; $V(13)=(Z=4, k=4, P=2)$; $V(24)=(Z=6,k=2, P=1, k=3, P=1)$;
- $V(3)=(Z=1, k=26, P=2)$; $V(14)=(Z=4, k=5, P=1)$; $V(25)=(Z=6,k=4, P=1)$;
- $V(4)=(Z=1, k=27, P=1)$; $V(15)=(Z=4, k=5, P=2)$; $V(26)=(Z=6,k=4, P=2)$;
- $V(5)=(Z=1, k=27, P=2)$; $V(16)=(Z=4, k=6, P=1)$; $V(27)=(Z=6,k=5, P=1)$;
- $V(6)=(Z=2, k=18, P=2, k=19, P=2)$; $V(17)=(Z=4, k=6, P=2)$; $V(28)=(Z=6,k=5, P=2)$.
- $V(7)=(Z=2, k=20, P=1)$; $V(18)=(Z=4, k=7, P=1)$;
- $V(8)=(Z=2, k=20, P=2)$; $V(19)=(Z=4, k=7, P=2)$;
- $V(9)=(Z=4, k=2, P=2)$; $V(20)=(Z=4, k=8, P=1)$;
- $V(10)=(Z=4, k=3, P=1)$; $V(21)=(Z=4, k=8, P=2)$;
- $V(11)=(Z=4, k=3, P=2)$; $V(22)=(Z=4, k=9, P=1)$;

Exemple 4 :

► Supposons par la suite, l'arrivée du 12 TCs tels que; 7 TCs de type 1 (20pieds) de

classe 5.1, 2 TCs du type 1 et un tc du type 2 de classe 3 et 2 TCs du type 1 de classe 4.1. L'entreposage établi par notre application est illustré dans la figure suivante :

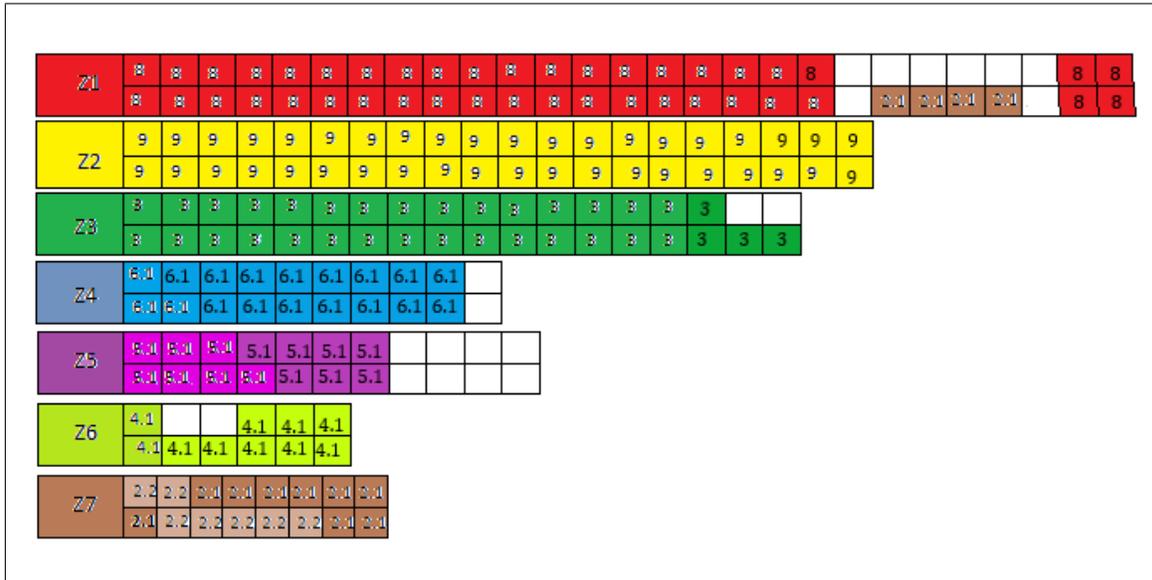


FIGURE 4.7 – Exemple 4 : La situation après l'affectation des TCs arrivés.

$$V(1)=(Z=5, k=4, P=2); V(12)=(Z=6, k=6, P=2).$$

$$V(2)=(Z=5, k=5, P=1);$$

$$V(3)=(Z=5, k=5, P=2);$$

$$V(4)=(Z=5, k=6, P=1);$$

$$V(5)=(Z=5, k=6, P=2);$$

$$V(6)=(Z=5, k=7, P=1);$$

$$V(7)=(Z=5, k=7, P=2);$$

$$V(8)=(Z=3, k=16, P=1);$$

$$V(9)=(Z=3, k=16, P=2);$$

$$V(10)=(Z=3, k=17, P=1, k=18, P=1);$$

$$V(11)=(Z=6, k=6, P=1);$$

Exemple 5 :

► Supposons par la suite, l'arrivée du 5 TCs tels que ; 3 TCs de type 1 (20pieds) de classe 8 et 2 TCs du type 1 de classe 6.1. L'entreposage établi par notre application est illustré dans la figure suivante :

33.33% (50 EVP). Certes cette application réalisée a permis l'automatisation d'entreposage qui tient compte des consignes de sécurité, qui minimise les zones d'entreposage tout en maximisant la capacité des zones néanmoins des améliorations peuvent être envisagées comme par exemple tenir compte de la durée maximale de stockage des classes des MD.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire est une seconde tentative d'automatisation de l'activité d'entreposage des produits dangereux au niveau du CTMD de Béjaia après le travail réalisé en 2012 dans [TIR12].

Comme tout le monde le sait c'est via la mer que s'échangent les plus grandes masses de marchandises. Le développement de la société et de l'industrie fait que ses marchandises par leurs propriétés physiques ou chimiques peuvent présenter un danger pour l'homme et pour l'environnement, ce qui c'est passé dernièrement au Liban n'est qu'une preuve concrete de la dangersité de ces matières.

Ainsi, dans ce mémoire on s'est intéressé au problème d'entreposage des matières dangereuses en conteneurs au niveau du centre de transit des MD de Béjaia. Pour cela, on a dû présenter en premier lieu l'EPB d'une manière générale, puis en second lieu une présentation détaillée du CTMD de Béjaia est donnée. De cette dernière présentation, une problématique s'est posée à savoir la nécessité de déterminer un plan de séparation des marchandises dangereuses au sein du CTMD et de gérer les emplacements des différentes classes des MD tout en respectant les contraintes de sécurité afin d'éviter les risques d'incidents. Cette problématique est motivée par le fait que le plan de séparation actuellement utilisé ne répond pas aux normes de sécurité internationales (IMO), en plus du fait l'espace de stockage n'est pas assez spacieux, en effet, ce plan actuel est de capacité de 150 EVP (Emplacement de Vingt Pieds).

Après un stage que nous avons effectué au sein du CTMD, nous avons constaté qu'on peut améliorer la capacité de ce centre en proposant en premier lieu un plan de séparation en 07 zones définies d'une manière appropriée en utilisant l'historique des données recueilli par la direction de la capitainerie durant les 05 dernières années. Ce plan que nous avons proposé nous a ramené à améliorer la capacité de stockage du CTMD plus que 33%. En second lieu, nous avons envisagé de proposer une application d'automatisation qui permet d'établir une solution réalisable qui consiste à satisfaire les contraintes de sûreté et de

sécurité exigées par le CTMD et par la qualité des MD. Pour établir cette application on a dû faire appel à l'outil de la programmation par contraintes pour la résolution du problème de satisfaction par contraintes (CSP). Pour une bonne présentation de notre application des exemples illustratifs de situations de stockage de MD au niveau du CTMD ont été exécutés, même si ces exemples ont montré l'efficacité de notre application néanmoins des améliorations peuvent être envisagées comme par exemple tenir compte de la durée maximale de stockage des classes des MD.

Annexe A

A.1 Table de ségrégation des classes des produits dangereux

Classe	1.1 1.2 1.5	1.3 1.6	1.4	2.1	2.2	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9	
Matières et objets explosibles	1.1 1.2 1.5	*	*	*	4	2	2	4	4	4	4	4	2	4	2	4	X	
Matières et objets explosibles	1.3 1.6	*	*	*	4	2	2	4	3	3	4	4	4	2	4	2	2	X
Matières et objets explosibles	1.4	*	*	*	2	1	1	2	2	2	2	2	2	X	4	2	2	X
Gaz inflammables	2.1	4	4	2	X	X	X	2	1	2	X	2	2	X	4	2	1	X
Gaz non toxiques, ininflammables	2.2	2	2	1	X	X	X	1	X	1	X	X	1	X	2	1	X	X
Gaz toxiques	2.3	2	2	1	X	X	2	X	2	X	X	2	X	2	1	X	X	
Liquides inflammables	3	4	4	2	2	1	2	X	X	2	1	2	2	X	3	2	X	X
Solides inflammables, y compris les matières auto réactives et les matières explosibles désensibilisées solides	4.1	4	3	2	1	X	X	X	X	1	X	1	2	X	3	2	1	X
Matières sujettes à l'inflammation spontanée	4.2	4	3	2	2	1	2	2	1	X	1	2	2	1	3	2	1	X
Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables	4.3	4	4	2	X	X	X	1	X	1	X	2	2	X	2	2	1	X
Matières comburantes (agents)	5.1	4	4	2	2	X	X	2	1	2	2	X	2	1	3	1	2	X
Peroxydes organiques	5.2	4	4	2	2	1	2	2	2	2	2	2	X	1	3	2	2	X
Matières toxiques	6.1	2	2	X	X	X	X	X	1	X	1	1	X	1	X	X	X	
Matières infectieuses	6.2	4	4	4	4	2	2	3	3	3	2	3	3	1	X	3	3	X
Matières radioactives	7	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	X	3	X	2	X
Matières corrosives	8	4	2	2	1	X	X	X	1	1	1	2	2	X	3	2	X	X
Matières et objets dangereux divers	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Les chiffres et les symboles correspondent aux expressions ci-après, qui sont définies dans le présent chapitre :

1 « Loin de »
2 « Séparé de »
3 « Séparé par un compartiment ou une cale complet de »
4 « Séparé longitudinalement par un compartiment ou une cale intermédiaire complet de »

X – Les dispositions relatives à la séparation des matières figurent, le cas échéant, dans la liste des marchandises dangereuses.

A.2 Documents nécessaires pour la réception des MD au CTMD

Annex 1-13

Transport Produit Chimique Et Dangereux Lettre d'Engagement

Numéro d'ordre réceptionnaire :
 Raison sociale :
 Adresse :
 Nom de Personne a contacté :
 Téléphone :
 Nature du contrat :
 Position tarifaire :

Nature du produit :
 Classe :
 Poids brute :

Code U N :
Poids net :

IMDG :

Nature de l'emballage :
 Nombre de colis :

Nature de l'emballage :
 Port d'embarquement :
 Port de débarquement :
 Coordonnées des fournisseurs :

ARTICLE I : Nous nous engageons à exiger de notre fournisseur chargeur de nous adresser un télex confirmant le chargement réel de nos présents produits avant la sortie du navire du port d'embarquement. Toutefois, et sans engagement de sa part le consignataire nous confirmera le chargement effectif de nos produits.

ARTICLE II : En cas de non retrait suivant les conditions précisées a l'article 2 de la présente lettre d'engagement. Nous vous engageons a supporter intégralement les frais d'attente, d'immobilisation du navire, de transfert, d'entreposage et de tout autre dommage ou préjudice tel que le manque a gagner, Nous nous interdisons par ailleurs, toute réclamation en la matière .

ARTICLE III : En cas de défaillance répétée de notre part,se réserve le droit de suspendre tout chargement de ce genre de produits destinés à notre organisme.

LE RECEPTIONNAIRE CONSIGNATAIRE LA CAPITAINERIE

FIGURE A.2 – Lettre d'engagement.

	Edition N° :01	Béjaïa Port Authority			
	DC.IMP.119	DECLARATION DE MARCHANDISES DANGEREUSES		Permis d'admission N°:	
				Etabli le :	

1 - Demandeur : (Nom /Qualité /Société /Organisme) Adresse : Tél. : / Fax :	2 - Consignataire : (Nom /Qualité /Société /Organisme) Adresse : Tél. : / Fax :
4 - Destinataire : (Nom /Qualité /Société /Organisme) Adresse : Tél. : / Fax :	3 - Transitaire : (Nom /Qualité /Société /Organisme) Adresse : Tél. : / Fax :

5 - Nom du navire : Date prévue d'entrée au Port : / / Poste :N°

6 - N° d'identification du (des) Conteneurs/ Véhicules : 7 - Type de Conteneurs : ____20' / ____ 40' 8 - Masse brute total (y compris tare en KG) :

Renseignements complémentaires : Dans certains cas, des renseignements spéciaux / Certificats sont exigés, se reporter au Code IMDG, Introduction Générale § 9.7.1 / 9.7.2.

(Réservé pour texte instructions ou autres renseignements)

CETTE PARTIE DOIT ETRE REMPLIE AVEC PRECISION

Matière ou objet ¹	Classé ²	N° ONU	Page code IMDG	Groupe d'emballage ³	Polluant Marins ⁴	Point d'éclair ⁵	Quantité ⁶ (en KG)	Étiquette de risque subsidiaire	N° Fiche de Sécurité ⁷	N° Table OSMU ⁸

¹ Désignation officielle de transport en lettres capitales (l'appellation industrielle/commerciale seule ne suffit pas).
² Au cas échéant, la division / classe de risque de l'ONU.
³ Indiquer le groupe et le type d'emballage.
⁴ Si la matière ou l'objet est un polluant marin, indiquer par la lettre : P, PP ou * (voir section 23 du Code IMDG).
⁵ Indiquer le point d'éclair minimal, si c'est à 61°C et (en crochets fermé uniquement).
⁶ Indiquer la masse brute et nette totale (en KG).
⁷ Si nécessaire.

DECLARATION :
 Nous Demandeur sus-désigné déclarons que le contenu de ce chargement est décrit ci-dessus de façon complète et exacte par les appellations techniques exactes (désignation officielle de transport) et qu'il est convenablement classé, emballé, marqué, muni d'étiquettes/étiquettes-piécards et tous égards bien conditionné pour être transporté conformément aux réglementations internationales et nationales applicables.
 L'EPB, peut en cas de besoins, nous exiger tout certificat ou autorisation spéciale, lorsque la réglementation internationale ou nationale en fait mention.

ENGAGEMENT :
 Nous, soussigné demandeur sus-désigné, nous nous engageons par la présente, à procéder à l'enlèvement des Marchandises Dangereuses susciter du Centre de Transit des Marchandises Dangereuses, dans un délai ne dépassant pas (08) huit jours à compter de la date d'entrée au CTMD.

Visa du Transitaire de la marchandise.	Visa du Demandeur de la marchandise.	Visa du Consignataire du navire
--	--------------------------------------	---------------------------------

Page 1 / 1 © 2005 Entreprise Portuaire de Béjaïa.

FIGURE A.3 – Déclaration de la marchandise dangereuse.



Port de Béjaia
Un port diversifié
Un pôle logistique incontournable

Permis d'admission de la marchandise dangereuse

Permis d'admission N° :

Date & heure :

N° d'identification des conteneurs / Véhicule TCLU : TGPU : CAIU :	Type de conteneur : 20'40 poids
---	---------------------------------

Après étude, du dossier, les produits suivants sont autorisés à transiter par le CTMD dans un délai de 8 jours.

Matière ou objet	Classe	N° fiche sécurité	Quantité	Date d'entrée	Observation

Important :

1. Le présent permis d'admission n'exclut pas la responsabilité de demandeur qui doit fournir en cas de besoin tout complément d'information sur les marchandises pour que leur séjour au CTMD se déroule dans les meilleures conditions de sécurité.
2. Le demandeur s'engage à s'acquitter des frais de convoyage conformément au cahier des tarifs de l'EPB.
3. L'EPB peut à tout moment requérir les services d'un expert pour compléter les informations aux frais du demandeur.
4. Si le délai d'enlèvement sont dépassés, l'EPB se réserve le droit de prendre toute mesure de sécurité jugée utile aux frais, risque et péril du demandeur.

Lu et approuvé

Le demandeur

Le Visa du chef de sécurité terrestre

Entreprise portuaire de Béjaia

FIGURE A.4 – Permis d'admission.

Bibliographie

- [Bap98] P. Baptiste. *Une étude théorique et expérimentale de la propagation des contraintes ressources*. Technical Report, Compiègne, Université des Technologies de Compiègne. Ph.D, 1998.
- [Ben16] S. Benkhanouche. *Système portuaire et la conteneurisation en Algérie-Cas : BMT*. Master en Sciences Economiques Option : Économie du Transport, 2016.
- [DF02] R. Dechter and D. Frost. *Backjump-based Backtracking for Constraint Satisfaction Problems*. Artificial Intelligence, Review 136, 2002.
- [Gas77] J. Gaschnig. *A general backtrack algorithm that eliminates most redundant tests*. International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1977.
- [HE80] R. Haralick and G. Elliott. *Increasing tree search efficiency for constraint satisfaction problems*. Artificial Intelligence, 1980.
- [Kef12] M. Kefi. *Assistance à l'agencement d'environnements virtuels : apport de la programmation par contraintes*. Thèse de Doctorant, Univ Nantes Angere Mans, Discipline informatique, 2012.
- [Mac77] K. Alan. Mackworth. *Consistency in networks of relations*. Artificial Intelligence, 1977.
- [MCCJ94] D. A. Cohen M. C. Cooper and P. Jeavons. *Characterising tractable constraints*. Artificial Intelligence, ed 65, 1994.
- [Mon74] Ugo. Montanari. *Networks of constraints : Fundamental properties and applications to picture processing*. Information Sciences, 7, 1974.
- [Nad90] B. Nadel. *Some applications of the constraint satisfaction problem*. Csc-90-008 Computer science Dept. Wayne State University, 1990.
- [NL16] O. Rouabia N. Lahreche. *Gestion de Marchandises Dangereuses dans le Centre de Transit des Marchandises Dangereuses au niveau de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa*. Mémoire de Master, Département des Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2016.

-
- [Oua16] A. Ouair. *Performance Portuaire*. 2016.
- [Raj05] J. M. Rajaonarison. *La conteneurisation dans les échanges maritimes internationaux*. Univ Paul Cézanne, Aix-en Provence, p7, 2005.
- [TGR90] C. Leiserson T. Gormen and R. Rivest. *Introduction to ALGORITHMS*. The MIT Press, 1990.
- [TIR12] A. TIRANE. *Automatisation et Exploitation de la capacité d'entreposage des conteneurs au CTMD-EPB port de béjaia*. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, Département des Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2011-2012.
- [VH90] P. Van-Hentenryck. *A Logic Language for Combinatorial Optimization*. Annals of Operations Research, 21, 1990.
- [Vig17] V. Vigneron. *Programmation par contraintes et découverte de motifs sur données séquentielles*. Thèse de Doctorant, Univ Bretagne Loire, Discipline informatique, 2017.

Résumé

Le développement de la société et de l'industrie nécessite de plus en plus de matières dites dangereuses (MD), i.e. de substances qui par leurs propriétés physiques ou chimiques peuvent présenter un danger pour l'homme et pour l'environnement. Le transport et le transit de ces MD nécessitent des centres de stockage spécialisés.

L'entreprise portuaire de Béjaia (EPB) est l'unique entreprise algérienne qui avait mis en exploitation un Centre de Transit de Marchandises Dangereuses (CTMD). Ce centre reçoit des quantités importantes en conteneurs pour lesquels il n'est pas performant vu le manque d'espace.

De nos jours, presque tout est automatisé. Un système automatisé simplifie, sécurise et rend moins pénibles les tâches répétitives et opérationnelles. Pour cette raison, l'objectif fixé dans ce mémoire est de proposer une application d'automatisation qui permet d'établir une solution réalisable qui consiste à satisfaire les contraintes de sûreté et de sécurité exigées par le CTMD et par la qualité des MD tout en essayant de réduire le nombre de zones d'entreposage et d'améliorer la capacité de stockage. Et ce, en faisant appel à l'outil de la programmation par contraintes (PPC) pour la résolution du problème de satisfaction par contraintes (CSP). Pour vérification de notre application des exemples illustratifs de situations de stockage de MD au niveau du CTMD sont exécutés.

Mots clés : Centre de Transit de Marchandises Dangereuses (CTMD), marchandises dangereuses, automatisation, entreposage des conteneurs, problème de satisfaction par contraintes (CSP), la programmation par contraintes.

Abstract

The development of society and industry requires more and more so-called hazardous materials (HM), i.e. substances which by their physical or chemical properties can present a danger to man and the environment. The transport and transit of these hazardous materials require specialized storage centers. The port company of Bejaia (PCB) is the only Algerian company which had put in operation a Center of Transit of Dangerous Goods (CTDG). This center receives large quantities of containers for which it is not efficient due to the lack of space.

Nowadays, almost everything is automated. An automated system simplifies, secures and makes less tedious repetitive and operational tasks. For this reason, the objective set in this thesis is to propose an automation application that allows to establish a feasible solution that consists in satisfying the safety and security constraints required by the CTDG and by the quality of the DGs while trying to reduce the number of storage areas and to improve the storage capacity. And this, by using the tool of constraint programming (CP) for the resolution of the constraint satisfaction problem (CSP). For verification of our application, illustrative examples of MD storage situations at the CTDG are executed

Keywords : Transit Center of Dangerous Goods (CTDG), Dangerous Goods, automation, storage of containers, constraint satisfaction problem (CSP), constraint programming (CP).