

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

Option : Management Industriel

---

Simulation de la Supply Chain portuaire pour l'amélioration des  
opérations des RTG

Application : DP WORLD Djazair

---

**MOUSLI Amira Yamina**

Sous la direction de : **Dr. ZOUAGHI Iskander** ENP

Présenté et soutenu publiquement le (11/07/2024)

**Composition du jury :**

|                |                      |                 |
|----------------|----------------------|-----------------|
| Président :    | M. BOUKABOUS Ali     | ENP             |
| Examinatrice : | Mme. BELDJOURI Samia | ENP             |
| Promoteur :    | M. Zouaghi Iskander  | ENP             |
| Promoteur :    | M. MEZIANE Abderaouf | DP WORLD Djazir |

ENP 2024



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

Option : Management Industriel

---

Simulation de la Supply Chain portuaire pour l'amélioration des  
opérations des RTG

Application : DP WORLD Djazair

---

**MOUSLI Amira Yamina**

Sous la direction de : **Dr. ZOUAGHI Iskander** ENP

Présenté et soutenu publiquement le (11/07/2024)

**Composition du jury :**

|                |                      |                 |
|----------------|----------------------|-----------------|
| Président :    | M. BOUKABOUS Ali     | ENP             |
| Examinatrice : | Mme. BELDJOURI Samia | ENP             |
| Promoteur :    | M. Zouaghi Iskander  | ENP             |
| Promoteur :    | M. MEZIANE Abderaouf | DP WORLD Djazir |

ENP 2024

# Dédicace

“

*Je dédie ce travail :*

*À ma chère mère, source de lumière et de guidance, qui m'a toujours soutenue en disant : "je sais que tu réussiras, inch'Allah". Merci pour ton courage, tes prières et ton amour inconditionnel. Je promets de te rendre fière de ta fille tout au long de ta vie.*

*À mon père, soutien indéfectible, qui me rappelle constamment que le succès est à ma portée et qui m'encourage : "je suis toujours avec toi jusqu'à ce que tu atteignes tes objectifs". Merci pour ta confiance et ton accompagnement. Que Dieu te protège pour que tu puisses voir les fruits de tes efforts.*

*À ma petite "Miral", je t'aime énormément et je te souhaite une vie remplie de succès et de bonheur, inchaallah.*

*À ma sœur "Zoula", la meilleure sœur au monde. Merci pour tes encouragements et ton soutien dans les moments difficiles.*

*À mon frère "Hichem", source d'amour et de réconfort. Merci pour tes paroles encourageantes : "je suis toujours là", "je suis fier de toi Amira", "as-tu besoin de quelque chose Amira". Bien que tu sois mon frère, je te considère comme un deuxième père.*

*À mes amies du groupe B14 : Asma, Abir, Amira, Douaa , Aya. Je n'ai pas de mots pour exprimer ma gratitude et mon affection. Vous êtes mes sœurs et le symbole de l'amitié. Je vous aime profondément.*

*À mes amies : Hassna ,Lydia, Nour, Ines, Maria, Hadile, Selma, Nada, Imene, merci pour votre soutien, vos encouragements et votre confiance en mes capacités.*

*À une personne spéciale "profe Zaida",merci*

*À toutes mes cousines.*

”  
**Amira**

# Remerciement

Nous débutons nos remerciements par une reconnaissance envers Dieu le Tout-Puissant, dont la force et la patience nous ont permis de mener à bien ce travail avec détermination.

Je tiens particulièrement à exprimer ma profonde gratitude envers M. ZOUAGHI Iskander pour son soutien indéfectible, ses conseils éclairés et son encouragement constant tout au long de ce projet. Sa présence a été une véritable source d'inspiration et de motivation.

Mes remerciements vont également à M. MEZIANE Abderaouf, notre superviseur au sein de l'entreprise, pour sa disponibilité inépuisable, son accompagnement précieux et sa bienveillance sans faille.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers M. BOUKABOUS Ali et Mme BELDJOURI Samia pour leur précieuse contribution à la lecture et à l'évaluation attentive de ce travail.

Un remerciement spécial à l'équipe du département planning, du service commercial ainsi qu'à la douane pour leur soutien continu, leurs conseils avisés et les informations essentielles qui ont enrichi ce projet.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, je vous adresse mes plus sincères remerciements.

Votre collaboration a été d'une importance capitale et je suis profondément reconnaissant pour votre soutien précieux et votre engagement.

*Amira*

## ملخص

هدف هذا العمل هو تقييم الوضع الحالي لسلسلة التوريد البحرية لـ Djazair World DP ، مع التركيز على مشكلة ضغط العمل لرافعات RTG. بعد ذلك، ستقدم سيناريو لتحسين باستخدام منهجية المحاكاة. هذا النهج يتطلب تحليلاً عميقاً للمشكلة، بما في ذلك جمع البيانات الكمية والنوعية، ونمذجة العمليات التشغيلية، ومحاكاة الوضع الحالي بالإضافة إلى السيناريوهات المقترحة في ANYLOGIC. وأخيراً، سيتم إجراء مقارنة فيما يتعلق بأوقات الانتظار والإنتاجية. ستتمكن حلولنا الشركة من تحليل مختلف السيناريوهات والتحقق من تحسين الأداء من خلال نمذجتنا للسيناء في ANYLOGIC.

---

كلمات مفتاحية : سلسلة التوريد البحرية، RTG، تحسين، سيناريو، محاكاة، نمذجة، ANYLOGIC، إنتاجية، انتظار الوقت.

---

## Abstract

The objective of this work is to assess the current state of DP World Djazair's port Supply Chain, focusing on the issue of RTG crane congestion. Subsequently, we propose an improvement scenario using a simulation methodology. This approach requires a thorough analysis of the problem, including gathering quantitative and qualitative data, modeling operational processes, and simulating both the current state and proposed scenarios in ANYLOGIC. Finally, a comparison in terms of waiting times and productivity will be conducted. Our solution will enable the company to analyze various scenarios and verify if they enhance performance through our terminal modeling in ANYLOGIC.

---

**Keywords :** Port Supply Chain, RTG, improvement, scenario, simulation, modeling, ANYLOGIC, productivity, waiting time.

---

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'état actuel de la Supply Chain portuaire de DP World Djazair, en se concentrant sur le problème de la surcharge des grues RTG. Ensuite, nous proposons un scénario d'amélioration en suivant une méthodologie de simulation.

Cette démarche nécessite une analyse approfondie du problème, comprenant la collecte de données quantitatives et qualitatives, la modélisation des processus opérationnels, et la simulation de l'état actuel ainsi que des scénarios proposés dans ANYLOGIC. Enfin, une comparaison en termes de temps d'attente et de productivité est réalisée.

Notre solution permettra à l'entreprise d'analyser divers scénarios et de vérifier s'ils améliorent la performance grâce à notre modélisation du terminal dans ANYLOGIC.

---

**Mots clés :** Supply Chain portuaire, RTG, amélioration, scénario, simulation, modélisation, ANYLOGIC, productivité, temps d'attente.

---

# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| Table des figures  | 15        |
| Liste des tableaux   | 15        |
| Liste des Abbreviations  | 15        |
| Introduction générale  | <b>13</b> |
| <b>1 État de l’art</b>   | <b>16</b> |
| 1.1 Supply Chain . . . . .   | 17        |
| 1.1.1 Notion de la Supply Chain . . . . .                                      | 17        |
| 1.1.2 Différents types de flux de de la Supply Chain . . . . .                 | 18        |
| 1.1.3 Supply Chain Management . . . . .  | 19        |
| 1.2 Notion du port . . . . .   | 20        |
| 1.2.1 Définition du port . . . . .   | 20        |
| 1.2.2 Différents types de ports . . . . .                                      | 20        |
| 1.2.3 Fonctions principales d’un port . . . . .                                | 21        |
| 1.3 Supply Chain portuaire . . . . .   | 22        |
| 1.3.1 Logistique portuaire . . . . .   | 22        |
| 1.3.2 Supply Chain portuaire . . . . .   | 23        |
| 1.3.3 Intervenants de la Supply Chain portuaire . . . . .                      | 24        |
| 1.4 Conteneurisation et Terminal à conteneurs . . . . .                        | 27        |
| 1.4.1 Conteneurisation . . . . .   | 28        |
| 1.4.2 Terminal à conteneurs . . . . .  | 30        |
| 1.4.3 Problèmes liées au terminal à conteneurs . . . . .                       | 32        |
| 1.5 Simulation des terminaux à conteneurs . . . . .                            | 33        |
| 1.5.1 Simulation . . . . .   | 34        |
| 1.5.2 Méthodologie de la simulation . . . . .                                  | 35        |
| 1.5.3 Simulateurs des opérations portuaires de terminal à conteneurs . . . . . | 38        |
| <b>2 État des lieux</b>  | <b>42</b> |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.1      | Marché du transport maritime . . . . .                                      | 43         |
| 2.1.1    | Marché mondial du transport maritime . . . . .                              | 43         |
| 2.1.2    | Marché Algérien du transport maritime . . . . .                             | 44         |
| 2.2      | DUBAI PORT WORLD . . . . .  | 45         |
| 2.2.1    | Présentation de DP WORLD . . . . .  | 45         |
| 2.2.2    | Ports mondiaux de DP WORLD . . . . .  | 47         |
| 2.2.3    | Place de DP WORLD dans le marché portuaire Algérien . . . . .               | 48         |
| 2.3      | DP WORLD Djazair . . . . .  | 48         |
| 2.3.1    | Présentation de DP WORLD Djazair . . . . .                                  | 49         |
| 2.3.2    | Mission, Vision et Valeurs de DP WORLD Djazair . . . . .                    | 51         |
| 2.3.3    | Fonctions, Objectifs et Services de DP WORLD Djazair . . . . .              | 51         |
| 2.3.4    | Structure organisationnelle de DPW Djazair . . . . .                        | 53         |
| 2.4      | Diagnostic de l'entreprise et l'énoncé de la problématique . . . . .        | 58         |
| 2.4.1    | Analyse Structurelle et d'Équipement du terminal DP World Djazair . . . . . | 58         |
| 2.4.2    | Supply Chain de DP WORLD Djazair . . . . .                                  | 62         |
| 2.4.3    | Analyse des indicateurs . . . . .   | 66         |
| 2.4.4    | Énoncé de la problématique . . . . .  | 67         |
| <b>3</b> | <b>Solution proposée</b>  | <b>69</b>  |
| 3.1      | Analyse du problème . . . . .   | 72         |
| 3.1.1    | Cartographie des processus . . . . .  | 72         |
| 3.1.2    | Collecte de données . . . . .   | 74         |
| 3.2      | Modélisation du terminal DP WORLD Djazair . . . . .                         | 76         |
| 3.2.1    | Modélisation du terrain du terminal . . . . .                               | 76         |
| 3.2.2    | Diagrammes de flux . . . . .  | 82         |
| 3.3      | Expérimentation sur le modèle (simulation) . . . . .                        | 85         |
| 3.3.1    | Simulation de l'état actuel . . . . .                                       | 86         |
| 3.3.2    | Scénario . . . . .  | 91         |
| 3.4      | Rapport et conclusion . . . . .   | 94         |
|          | <b>Conclusion générale</b>  | <b>97</b>  |
|          | <b>Bibliographie</b>  | <b>99</b>  |
| <b>4</b> | <b>Annexes</b>  | <b>102</b> |

# Table des figures

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.1  | Représentation d'une Supply Chain[42]                              | 18 |
| 1.2  | Représentation de la SC et flux associés [17]                      | 19 |
| 1.3  | Processus de la Supply Chain portuaire[30]                         | 24 |
| 1.4  | Liste des plus grandes compagnies de transport maritime [2]        | 25 |
| 1.5  | Intervenants dans la Supply Chain portuaire[1]                     | 27 |
| 1.6  | Conteneur standard de 20 pieds[5]                                  | 28 |
| 1.7  | Représentation simple de terminal à conteneurs[35]                 | 31 |
| 1.8  | Concept de la simulation en boîte noire[37]                        | 34 |
| 1.9  | Schéma de l'étape analyse du problème[23]                          | 36 |
| 1.10 | Schéma sur l'étape de modélisation et programmation[23]            | 36 |
| 1.11 | Schéma sur l'expérimentation sur le Modèle[23]                     | 37 |
| 1.12 | Processus de modélisation et simulation[37]                        | 37 |
| 2.1  | Évolution du trafic mondial des conteneurs [12]                    | 43 |
| 2.2  | Principaux ports commerciaux à travers le monde en 2005 et 2021[4] | 44 |
| 2.3  | Évolution du trafic des conteneurs en Algérie[13]                  | 45 |
| 2.4  | Portée mondiale de DP WORLD[11]                                    | 47 |
| 2.5  | Portes de DP WORLD en Algérie[6]                                   | 47 |
| 2.6  | Création de DP WORLD Djazair[25]                                   | 49 |
| 2.7  | Évolution du trafic des conteneurs au sein de DP WORLD Djazair     | 49 |
| 2.8  | Situation géographique de DP WORLD Djazair[7]                      | 50 |
| 2.9  | Structure de la direction générale[32]                             | 54 |
| 2.10 | Structure de la direction commerciale[32]                          | 54 |
| 2.11 | Structure de la direction des affaires financières[32]             | 55 |
| 2.12 | Structure de la direction des ressources humaines[32]              | 56 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.13 | Structure de la direction des opérations. . . . .   | 56 |
| 2.14 | Intervenants du département des opérations . . . . .  | 57 |
| 2.15 | Intervenants du département planning. . . . .   | 57 |
| 2.16 | Plan du terminal DP WORLD Djazair . . . . .   | 58 |
| 2.17 | BPMN du processus d'importation dans le DP WORLD Djazair . . . . .  | 65 |
| 2.18 | Taux d'occupation dans la zone RS en Mars . . . . .   | 66 |
|      |   |    |
| 3.1  | Démarche de la simulation . . . . .   | 70 |
| 3.2  | Bibliothèque de Modélisation de Processus . . . . .   | 71 |
| 3.3  | Bibliothèque de Manipulation de Matériel . . . . .  | 72 |
| 3.4  | Cartographie des processus . . . . .  | 73 |
| 3.5  | BPMN du processus opérationnel du terminal DP World Djazair . . . . .   | 74 |
| 3.6  | Echelle de la modélisation dans Anylogic . . . . .  | 77 |
| 3.7  | Modélisation des quais du terminal DP World Djazair . . . . .   | 77 |
| 3.8  | Modélisation des blocs de stockage dans AnyLogic . . . . .  | 78 |
| 3.9  | Vue caméra en3D de la zone RTG dans AnyLogic . . . . .  | 78 |
| 3.10 | Vue caméra en 3D de la zone RS dans AnyLogic . . . . .  | 78 |
| 3.11 | Vue caméra en 3D du parc visite dans AnyLogic . . . . .   | 78 |
| 3.12 | Modélisation en 2D du terminal dans Anylogic . . . . .  | 79 |
| 3.13 | Modélisation en 2D et 3D du navire dans AnyLogic . . . . .  | 79 |
| 3.14 | Modélisation des trois équipements dans AnyLogic . . . . .  | 80 |
| 3.15 | Modélisation du conteneur dans Anylogic . . . . .   | 80 |
| 3.16 | Modélisation des Trajectoires des Équipements dans le Terminal à Conteneurs<br>DP World Djazair dans AnyLogic . . . . . | 81 |
| 3.17 | Diagramme de flux du processus de débarquement . . . . .  | 82 |
| 3.18 | Diagramme des flux du processus du transport des conteneurs vers le parc de<br>visite. . . . .                          | 83 |
| 3.19 | Diagramme des flux de l'arrivée du camion . . . . .   | 84 |
| 3.20 | Diagramme des flux du processus du transport des conteneurs vers la zone RS   | 85 |
| 3.21 | Simulation en 2D du terminal DP WORLD Djazair dans Anylogic . . . . .   | 86 |
| 3.22 | Simulation en 3D de la zone RTG dans Anylogic . . . . .   | 86 |
| 3.23 | Simulation en 3D de la zone RS dans Anylogic . . . . .  | 87 |
| 3.24 | Simulation en 3D du parc visite dans Anylogic . . . . .   | 87 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 3.25 | Résultats de la simulation du diagramme des flux du processus de débarquement des navires . . . . .  | 88  |
| 3.26 | Résultats du temps d'attente des conteneurs avant leur stockage dans RTG .   | 88  |
| 3.27 | Résultats de la simulation du diagramme des flux du transport des conteneurs vers le parc de visite et l'arrivée des camions des clients . . . . . | 89  |
| 3.28 | Résultats du temps d'attente des camions et des ITV . . . . .  | 90  |
| 3.29 | Résultats de la simulation du diagramme des flux du transport des conteneurs après visite . . . . .  | 91  |
| 3.30 | Simulation des diagrammes des flux du scénario pour les 3 événements dans Anylogic . . . . .   | 92  |
| 3.31 | Résultats du temps d'attente des ITV pour événement du débarquement des conteneurs pour le scénario . . . . .                                      | 93  |
| 3.32 | Résultats du temps d'attente des camions et des ITV du scénario . . . . .  | 94  |
| 4.1  | Plan de masse du terminal DP World Djazair . . . . .   | 105 |
| 4.2  | Temps d'attente des conteneurs du circuit vert pour le déchargement par RTG  | 106 |
| 4.3  | Temps d'attente des conteneurs du non circuit vert pour le déchargement par RTG . . . . .  | 106 |
| 4.4  | Temps d'attente des ITV pour que les RTG déchargent leurs conteneurs planifiés à l'inspection . . . . .  | 107 |
| 4.5  | Temps d'attente des camions . . . . .  | 109 |
| 4.6  | Temps d'attente des conteneurs du circuit vert pour le déchargement par RTG  | 110 |
| 4.7  | Temps d'attente des conteneurs du non circuit vert pour le déchargement par RTG . . . . .  | 111 |
| 4.8  | Temps d'attente des ITV pour que les RTG déchargent leurs conteneurs planifiés à l'inspection . . . . .  | 112 |
| 4.9  | Temps d'attente des camions . . . . .  | 114 |

# Liste des tableaux

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1.1 | Définitions de la Supply Chain[40] . . . . .  | 17  |
| 1.2 | Différents types de ports . . . . .   | 20  |
| 1.3 | Dimensions et volumes des différents types de conteneurs maritimes [54] . . . . .               | 30  |
| 1.4 | Objectifs de la simulation[34] . . . . .  | 35  |
| 1.5 | Comparaison des fonctionnalités des logiciels de simulation[44] . . . . .                       | 40  |
| 2.1 | Histoire de DP WORLD[32] . . . . .  | 46  |
| 2.2 | Caractéristiques techniques des postes du terminal à conteneur de DP WORLD<br>Djazair . . . . . | 59  |
| 2.3 | Capacité de stockage des conteneurs en EVP . . . . .  | 61  |
| 2.4 | Équipements du terminal de DP world Djazair . . . . .   | 62  |
| 2.5 | Temps moyen de séjour des conteneurs (Jour) . . . . .   | 67  |
| 3.1 | Capacité des blocs de la zone RTG . . . . .   | 74  |
| 3.2 | Capacité des blocs de la zone RS . . . . .  | 75  |
| 3.3 | Capacité du parc visite . . . . .   | 75  |
| 3.4 | Capacité du navire . . . . .  | 75  |
| 3.5 | Vitesse des équipements . . . . .   | 75  |
| 3.6 | Affectation des équipements . . . . .   | 76  |
| 3.7 | Comparaison des processus dans l'état initial et dans le scénario . . . . .                     | 95  |
| 4.1 | Explication des équipements de manutention et de transport des conteneurs                       | 104 |

# Liste des Abbreviations

|             |  |
|-------------|--|
| <b>AGV</b>  | <i>Automated Guided Vehicle</i>            |
| <b>BPMN</b> | <i>Business Process Model and Notation</i> |
| <b>CCTV</b> | <i>Closed Circuit Television</i>           |
| <b>DP</b>   | <i>Dubai Ports</i>                         |
| <b>DPW</b>  | <i>Dubai Ports World</i>                   |
| <b>ECH</b>  | <i>Empty Container Handler</i>             |
| <b>EPAL</b> | <i>Entreprise Portuaire d'Alger</i>        |
| <b>EVP</b>  | <i>Equivalent Vingt Pieds</i>              |
| <b>ITV</b>  | <i>Internal Transfer Vehicle</i>           |
| <b>RS</b>   | <i>Reach Stacker</i>                       |
| <b>RTG</b>  | <i>Rubber Tyred Gantry</i>                 |
| <b>SC</b>   | <i>Supply Chain</i>                        |
| <b>SCM</b>  | <i>Supply Chain Management</i>             |
| <b>TEUS</b> | <i>Twenty-foot Equivalent Unit</i>         |

# Introduction générale

Le commerce international est un moteur essentiel de l'économie mondiale, permettant aux pays d'échanger des biens et des services spécifiques à leurs industries respectives. Parmi les divers modes de transport utilisés pour ces échanges, le transport maritime joue un rôle prépondérant en facilitant le déplacement de grandes quantités de marchandises de manière sécurisée et économique. On estime que plus de 80 % du commerce mondial en volume est effectué par voie maritime, ce qui en fait un élément crucial de l'économie de nombreux pays.

La supply chain portuaire joue un rôle pivot dans le domaine du transport maritime, en orchestrant une série complexe de processus impliquant divers intervenants, depuis le stockage initial des marchandises par les exportateurs jusqu'à leur livraison finale aux importateurs, à travers les terminaux à conteneurs dédiés tant aux importations qu'aux exportations. Ces terminaux, essentiels à la fluidité des échanges commerciaux, font face à plusieurs défis internes majeurs, notamment la gestion délicate de la planification et de la synchronisation des opérations. Ces enjeux peuvent significativement affecter l'efficacité opérationnelle globale des ports, influençant ainsi leur compétitivité sur la scène internationale. Par conséquent, une gestion avancée et intégrée de la supply chain portuaire est indispensable pour optimiser les performances et garantir le succès des opérations maritimes. Cette optimisation nécessite une approche stratégique et proactive afin de surmonter les défis complexes inhérents à ce secteur.

DP World est un leader mondial dans le domaine de la logistique portuaire, avec une présence dans plus de 70 pays et une capacité mondiale de manutention portuaire dépassant les 92 millions d'EVP. La stratégie de DP World repose sur l'amélioration continue de ses opérations, équipements et technologies, ainsi que sur l'optimisation de l'échange d'informations par le biais de solutions logicielles avancées.

En partenariat avec l'EPAL, DP World opère également en Algérie sous le nom de DP World Djazair. Ce terminal est le principal acteur de la logistique portuaire en Algérie, avec une part de marché de 27 %. La stratégie centrale de DP World Djazair se concentre sur l'augmentation de sa capacité par le biais d'investissements stratégiques dans les infrastructures et les technologies avancées. Cette approche vise à améliorer l'efficacité et à résoudre les défis liés aux échanges commerciaux en Algérie.

La supply chain interne de DP World Djazair se décompose en quatre processus principaux : le débarquement des conteneurs des navires sur les quais, leur transport vers la zone de

stockage (yard), leur réception et inspection par les grues RTG ,et enfin leur livraison finale au client. Les RTG jouent un rôle central dans cette chaîne, étant les premières à recevoir les conteneurs dans le yard et les dernières à les manipuler avant leur sortie pour livraison. L'optimisation de la productivité des RTG est donc cruciale pour améliorer la performance globale du terminal.

Dans ce cadre, DP World Djazair s'engage à élaborer une stratégie méthodique visant à rationaliser les opérations des équipements, notamment des grues RTG, en vue d'optimiser la performance intégrale du terminal. Par conséquent, la problématique centrale de notre étude est la suivante :

**Comment évaluer la performance des équipements RTG sur la productivité globale du terminal afin de développer une stratégie pour améliorer cette performance ?**

Pour répondre à cette problématique, nous avons identifié deux sous-problématiques :

- **Comment évaluer l'état actuel du terminal face à la surcharge des RTG ?**
- **Comment déterminer si un scénario proposé pour améliorer le travail des RTG est bénéfique pour la productivité du terminal, compte tenu de l'interdépendance des processus ?**

Pour aborder cette problématique, notre approche méthodologique s'est articulée de la manière suivante :

Premièrement, nous avons entrepris une analyse structurée de la configuration et des équipements du terminal DP World Djazair, dans le but de comprendre pleinement son environnement opérationnel.

En parallèle, une étude détaillée de supply chain de DP World Djazair a été réalisée. À travers l'utilisation du BPMN ,nous avons élaboré une modélisation exhaustive des processus d'importation, depuis l'arrivée initiale des navires jusqu'à la phase finale de livraison des conteneurs. Cette approche nous a permis d'identifier de manière précise les tâches essentielles ainsi que les activités complémentaires des grues RTG.

Une analyse approfondie des opérations des grues RTG a suivi, au cours de laquelle nous avons sélectionné des indicateurs clés afin de diagnostiquer les causes sous-jacentes des problèmes de surcharge constatés.

Enfin, les résultats de ces analyses ont été consolidés pour formuler de manière concise la problématique centrale orientant notre étude.

Notre travail est organisé en trois chapitres distincts :

**Chapitre 1** : Présentation théorique approfondie, divisée en deux parties essentielles. La première partie explore en détail les concepts clés tels que la supply chain portuaire et le fonctionnement des terminaux à conteneurs. La seconde partie se concentre sur la simulation des opérations portuaires, en mettant en avant notre choix spécifique de logiciel.

**Chapitre 2** : Présentation détaillée de DP World Djazair, l'organisation étudiée, incluant un diagnostic approfondi de notre problématique spécifique.

**Chapitre 3** : Description méthodique des étapes suivies pour la mise en œuvre de notre solution, en mettant particulièrement l'accent sur la simulation de la supply chain de DP World Djazair à travers l'utilisation d'AnyLogic.

# Chapitre 1

## État de l'art

# Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les concepts théoriques pertinents à notre étude afin d'offrir une compréhension globale de notre projet. Nous examinerons la Supply Chain, avec un focus particulier sur la Supply Chain portuaire, et identifierons les divers problèmes rencontrés dans ce domaine. Par la suite, nous exposerons la démarche théorique de la simulation de la Supply Chain portuaire.

## 1.1 Supply Chain

Au cœur de notre étude réside la Supply Chain. Nous entamerons donc par une explication approfondie de ce concept fondamental.

### 1.1.1 Notion de la Supply Chain

La SC revêt une importance cruciale dans le contexte opérationnel des entreprises, ce qui a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs. Ces derniers s'emploient à définir ce concept en fonction de leur discipline et des objectifs spécifiques de leurs études, engendrant ainsi une diversité de définitions.

Le tableau ci-dessous présente les diverses définitions de la Supply Chain :

TABLE 1.1 – Définitions de la Supply Chain[40]

| Acteurs                    | Définitions de la SC  |
|----------------------------|---|
| Jones et Riley, 1985       | La SC regroupe la planification et le pilotage de l'ensemble des flux matière depuis le fournisseur jusqu'au client final en passant par le producteur et distributeur.   |
| Ganeshan et Harrison, 1995 | La SC est réseau facilitateur exécutant les fonctions d'approvisionnement de matières, transformation de ces matières en produits intermédiaires puis produits fin, et la distribution des produits vers les clients. |
| Chrisopher, 1998           | La SC englobe les processus de gestion stratégique de l'approvisionnement, des mouvements de stocks de matières, de composants et de produits finis, ainsi que des flux d'informations qui y sont associés.           |
| Feniès, 2006               | La SC est un système complexe décrit comme un ensemble ouvert traversé par des flux financiers, matériels et informationnels.   |

Selon les différentes définitions énoncées, il est observé que la Supply Chain se constitue d'une série de partenaires commerciaux en réseau (clients, entreprise, fournisseurs) qui se voient attribuer diverses responsabilités logistiques. Cette coordination efficace repose sur trois types de flux : les flux d'information, les flux physiques et les flux financiers.

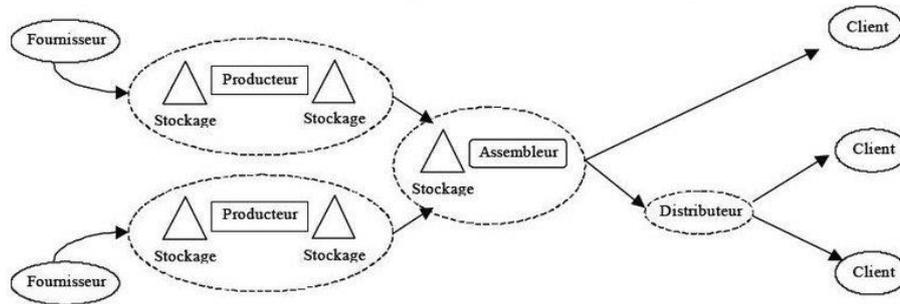


FIGURE 1.1 – Représentation d'une Supply Chain[42]

### 1.1.2 Différents types de flux de de la Supply Chain

Les flux qui traversent la Supply Chain sont indispensables pour la gestion et l'optimisation des opérations d'une entreprise. Ils se subdivisent en trois catégories principales [10] :

#### a. Les flux physiques

Ils englobent les déplacements des biens, tels que l'approvisionnement, la maintenance, la gestion des stocks, le stockage et le transport. L'objectif est de livrer les produits appropriés au bon endroit, au bon moment, en quantités adéquates et en bon état, tout en minimisant les coûts.

#### b. Les flux d'informations

Ces flux concernent la collecte, le traitement et la diffusion des données nécessaires à la gestion de la Supply Chain. Ils comprennent l'historique des ventes, les informations sur les clients, les fournisseurs, les prestataires, les stratégies adoptées et les indicateurs de performance.

#### c. Les flux financiers et administratifs

Ils impliquent l'ensemble des documents et transactions financières circulant entre les divers acteurs de la Supply Chain, tels que le traitement des commandes, la vérification des paiements et la production de rapports de gestion.

Chacun de ces flux joue un rôle déterminant dans l'efficacité et la performance globale de la Supply Chain. Par conséquent, l'optimisation de ces flux représente un levier stratégique pour améliorer la performance opérationnelle de l'entreprise.

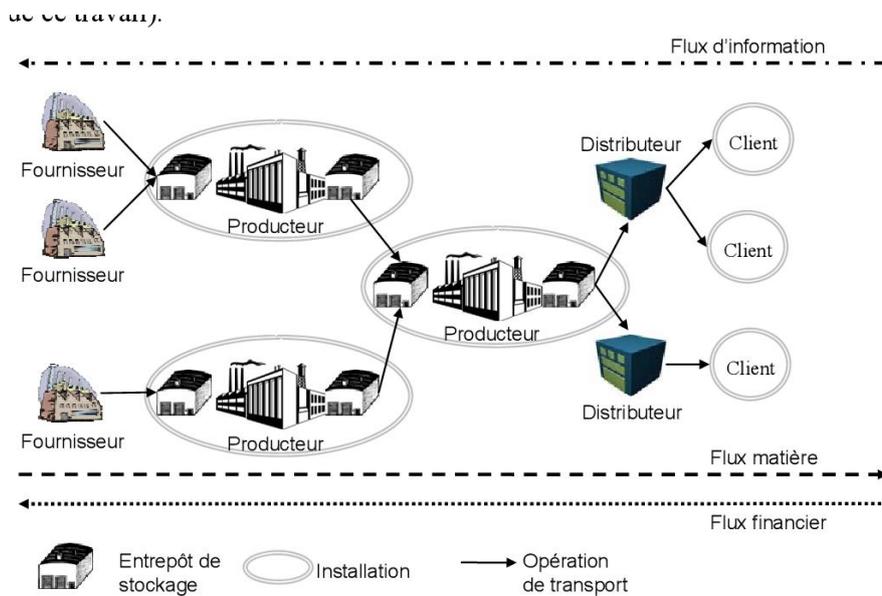


FIGURE 1.2 – Représentation de la SC et flux associés [17]

### 1.1.3 Supply Chain Management

La SCM représente un concept central dans les domaines de la logistique et de l'approvisionnement. La consolidation des différentes définitions, accompagnée d'une explication, offre une meilleure compréhension de ce concept :

Selon Simchi-Levi et al ,la SCM consiste en un ensemble de stratégies visant à intégrer de manière efficiente les fournisseurs, les fabricants et les distributeurs. L'objectif est d'assurer que les produits soient fabriqués et distribués avec la qualité appropriée, au bon endroit et au bon moment, tout en minimisant les coûts et en satisfaisant les exigences de service du client[21].

Chopra et Meindl définissent la SCM comme la gestion des ressources de la SC, englobant les flux de produits, d'informations et financiers, dans le but de maximiser la rentabilité globale. Cette perspective met l'accent sur les aspects financiers et la recherche de rentabilité grâce à une gestion optimale des ressources et des informations[28].

Le CSCMP (council of Supply Chain management professionnels) défini le SCM comme étant le management logistique est cette partie du Supply Chain management qui prévoit, met en place et maîtrise de façon efficiente les flux, les contrefeux et les stocks de marchandises, ainsi que les services et les informations associées, leur point d'origine à leur point de consommation, de façon à satisfaire les exigences des clients[29].

Donc, la SCM est une approche stratégique qui vise à coordonner et à optimiser tous les aspects de la SC, de la production à la livraison, en passant par la gestion des informations et des finances, afin de servir au mieux le client final et d'améliorer la position concurrentielle de l'entreprise.

## 1.2 Notion du port

Notre étude se situe dans le contexte portuaire, et dans cette optique, nous allons éclaircir ce domaine spécifique.

### 1.2.1 Définition du port

Le port est défini comme un ensemble d'infrastructures élaborées et utilisées pour faciliter le transport de marchandises entre le navire et la mer, ainsi que les différents modes de transport terrestres tels que le rail, la route, la navigation intérieure et diverses canalisations[39].

Selon Stopfordes, un port est défini comme étant une région géographique où les navires sont placés à proximité de la terre pour y charger et décharger des marchandises généralement une zone d'eau profonde telle qu'une baie ou l'embouchure d'un fleuve[51].

Les ports jouent donc un rôle essentiel dans le domaine maritime et sont intégrés à un réseau complexe. Ils sont des voies de communication entre la mer et les voies de communication terrestres.

### 1.2.2 Différents types de ports

Le port occupe une position centrale cruciale dans la SC des échanges internationaux, se déclinant en trois catégories distinctes : les ports maritimes, fluviaux et secs. Cette diversité montre la complexité des opérations portuaires et leur adaptation aux besoins du commerce mondial, comme décrit dans notre tableau des types de ports et leurs caractéristiques.

TABLE 1.2 – Différents types de ports

| Type du port        | Caractéristiques  |
|---------------------|---|
| Les ports maritimes | Ce sont les points d'accès pour les navires de mer engagés dans le commerce extérieur. Ils sont localisés le long des côtes maritimes ou océaniques, offrant un accès aux navires de commerce, de pêche. Leur rôle est essentiel pour faciliter le transport international.       |
| Les ports fluviaux  | Aussi connus comme ports intérieurs, se trouvent le long des voies navigables comme les fleuves, les rivières, ou les canaux. Leur rôle économique spécifique est de faciliter les échanges commerciaux à l'intérieur des terres, les plaçant au cœur de la logistique nationale. |
| Les ports secs      | Ces ports sont implantés à l'intérieur des terres dans le but de regrouper et distribuer des marchandises. Leurs fonctions sont similaires à celles des ports maritimes et comprennent des services de dédouanement.  |

### 1.2.3 Fonctions principales d'un port

Les ports sont des éléments cruciaux du commerce international et de l'économie locale, remplissant une multitude de fonctions. Parmi celles-ci, quatre se démarquent particulièrement[20] :

#### a. La fonction maritime

L'objectif principal de cette fonction réside dans le transbordement de marchandises entre les grands navires et les échanges entre navires transocéaniques desservant diverses lignes pour acheminer les marchandises de port à port. Cette pratique est en adéquation avec les besoins des expéditeurs, qui s'engagent à fournir de nouveaux services d'information, de distribution et de stockage, ainsi qu'à organiser l'allocation des navires et des conteneurs, dans le but ultime d'accroître la productivité et d'améliorer la qualité des opérations.

#### b. La fonction commerciale

La fonction commerciale d'un port se caractérise par le transit des marchandises, qui sont reçues dans le port avant d'être expédiées vers d'autres destinations maritimes. Cette activité est conditionnée par les avantages géographiques du port, le volume de son trafic maritime, la dynamique de son marché local et la qualité de ses infrastructures. Quatre aspects clés doivent être examinés : la nature des marchandises chargées à bord des navires, les types de liaisons maritimes (cabotage, court, moyen ou long courrier), les relations internes (rôle régional ou industriel) et la nature ainsi que la destination des marchandises manutentionnées (stockage ou transit). Une classification portuaire analyse les fonctions assurées par l'autorité portuaire, incluant l'exploitation, la régulation administrative et la gestion commerciale.

#### c. La fonction industrielle

Cette fonction a gagné en importance à la suite de la Seconde Guerre mondiale et a atteint son apogée en Europe dans les années 1970. Elle découle de la tendance des activités à s'y installer afin d'éviter les ruptures de charge. Elle englobe diverses activités liées à l'exportation telles que la construction et la réparation de navires, la fabrication de matériels "offshore" ou d'installations flottantes, ainsi que le tri et l'emballage de produits en transit tels que les automobiles, les produits chimiques et pétrochimiques.

#### d. La fonction logistique

Cette fonction opère au sein des grands ports maritimes et implique la gestion intégrée des flux physiques, informationnels et organisationnels, ce qui permet d'englober la totalité de la chaîne de production et de distribution. En offrant des services logistiques à valeur ajoutée, ces ports visent à capturer une part significative de la valeur ajoutée générée tout au long de la chaîne de produits. Ainsi les ports maritimes modernes ne se limitent plus à être de simples centres de transbordement, mais deviennent des éléments essentiels d'un système logistique intégré[26].

Leurs objectifs s'articulent autour de plusieurs axes :

- Garantir la continuité des flux de marchandises.
- Optimiser les techniques de distribution et de transport.
- Contribuer à la création de richesse en assurant un niveau de qualité, de délais et de service optimal.

### 1.3 Supply Chain portuaire

La convergence des deux concepts précédents, à savoir le domaine portuaire et la Supply Chain, se concentre dans la notion de la Supply Chain portuaire. Cette convergence marque le point de départ de notre étude, à travers lequel nous approfondirons notre analyse des dynamiques fondamentales de ce domaine.

#### 1.3.1 Logistique portuaire

La logistique portuaire se définit comme l'ensemble des dispositifs stratégiques et opérationnels visant à optimiser les fonctions intermodales au sein de la chaîne portuaire. Cette approche professionnelle vise à accélérer et à rendre plus efficaces les opérations portuaires[41].

La logistique portuaire englobe un éventail d'opérations, notamment la réception, la manutention, le débarquement, l'embarquement et le stockage des marchandises, ce qui en fait un élément crucial du domaine portuaire. Les objectifs associés à cette approche incluent[46] :

- Mettre en place des systèmes logistiques performants pour gérer les stocks, optimiser les processus de manutention et de transport, et coordonner les parties prenantes de la SC.
- Encourager l'utilisation de solutions de transport multimodal pour améliorer la connectivité entre les différents modes de transport et faciliter le transit des marchandises.
- Reconquérir des parts de marché en développant une connaissance approfondie de l'hinterland cible et en ajustant la stratégie logistique en conséquence.

La logistique portuaire est constituée de diverses composantes essentielles qui jouent un rôle fondamental dans la gestion du flux des marchandises, assurant ainsi l'efficacité et la sécurité du commerce maritime mondial. Parmi ces composantes, on distingue[24] :

##### a. L'entreposage

La diversité des installations d'entreposage dans les ports résulte de la variété des besoins de stockage des marchandises. Afin d'assurer un flux fluide des marchandises à travers les postes à quai, les autorités portuaires doivent mettre en place des procédures et des pratiques d'entreposage efficaces.

### b. La manutention

La manutention désigne l'action de manipuler et de déplacer les marchandises ou les conteneurs en vue de leur stockage ou de leur entreposage. Les équipements de manutention techniques représentent l'un des éléments essentiels de la logistique. Différents systèmes de manutention sont utilisés, parmi lesquels figurent la manutention des conteneurs, des marchandises non conteneurisées et des vrac.

### 1.3.2 Supply Chain portuaire

Nous avons évoqué précédemment que la Supply Chain représente un ensemble de flux interconnectés impliqués dans les divers processus de circulation d'un bien au sein d'une entreprise. De même, nous avons identifié le port comme une zone où s'opèrent les divers processus liés aux conteneurs.

Ainsi, la Supply Chain portuaire se présente comme un réseau complexe de processus interconnectés, débutant avec l'arrivée des marchandises au port d'exportation et se concluant par leur distribution au destinataire final. Ce système englobe toutes les étapes essentielles, en mettant particulièrement en avant les opérations internes du port. Ces processus sont interdépendants et coordonnés à travers des flux physiques, informationnels et financiers. On peut identifier :

- Le flux d'information revêt une importance capitale dans la compétitivité de la SC portuaire. Les terminaux portuaires intègrent des technologies de pointe pour surveiller et gérer leurs équipements, ainsi que pour localiser les conteneurs. Ces avancées technologiques facilitent également l'échange de données et d'informations avec les autres maillons de la chaîne. Parmi ces informations figurent notamment les horaires d'arrivée et de départ des conteneurs et des différents moyens de transport, ainsi que la localisation des conteneurs[22].
- Le flux physique englobe les articles en mouvement au sein de la chaîne portuaire, incluant des éléments tels que les conteneurs et les divers moyens de transport associés, tels que les trains, les camions et les navires.
- Les flux financiers au sein de la SC portuaire englobent toutes les opérations monétaires effectuées entre les diverses parties prenantes. Cela comprend les transactions entre le transitaire et la compagnie maritime, le paiement des frais de visite douanière, ainsi que la finalisation des factures avec l'entreprise portuaire.

Dans le contexte de la SC portuaire, plusieurs processus sont coordonnés pour assurer la livraison des marchandises à leur destinataire final. Les processus essentiels concernant les activités de pré-acheminement et de post-acheminement des marchandises doivent être parfaitement coordonnés et complémentaires[22].

La figure ci-dessous illustre les processus clés de la Supply Chain portuaire.

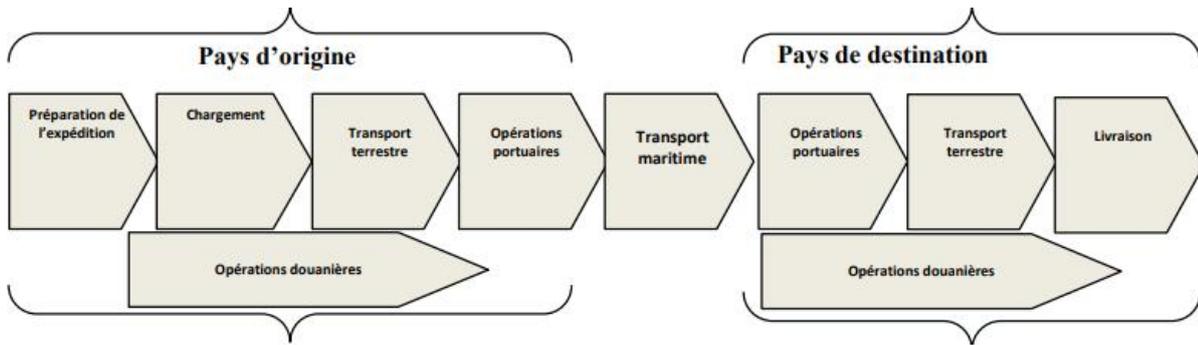


FIGURE 1.3 – Processus de la Supply Chain portuaire[30]

Nous remarquons dans la figure ci-dessus la synthèse de l'ensemble des processus de la SC portuaire. Elle débute par la préparation des marchandises au niveau des entrepôts des vendeurs dans le pays d'origine, suivie du pré acheminement et du dédouanement des marchandises à l'exportation. Ensuite, les marchandises sont transportées par voie maritime. À leur arrivée au port de destination, elles sont dédouanées et livrées à leur destinataire final.

### 1.3.3 Intervenants de la Supply Chain portuaire

La Supply Chain portuaire est une coordination de processus entre différents intervenants visant à assurer le bon déroulement des opérations de transport. Ces intervenants, regroupés en trois catégories principales : client, entreprise et fournisseur. Par la suite, nous avons identifié les divers intermédiaires au sein de chaque catégorie principale, permettant ainsi une vue globale de la Supply Chain portuaire.

#### 1. Les principaux acteurs

Les principaux acteurs de la SC portuaire se regroupent autour du trinôme principal, à savoir :

##### a. Fournisseur (Exportateur)

Dans la SC portuaire, le fournisseur se réfère à l'exportateur ou au chargeur, qui est le détenteur des marchandises transportées. En tant qu'organisateur principal de l'opération de transport, le chargeur a pour responsabilité de préparer les marchandises conformément aux conditions du transport maritime et de les acheminer vers le port d'embarquement, soit par ses propres moyens, soit en les confiant à un intermédiaire.

##### b. Entreprise

Cette catégorie est subdivisée en deux parties distinctes qui sont :

##### La compagnie maritime

Une compagnie maritime est une entité commerciale spécialisée dans le transport maritime de marchandises ou de passagers. Elle peut exercer son activité de deux manières : en tant qu'armateur, en gérant sa propre flotte de navires, ou en tant qu'affrètement, en recourant à la location de navires pour fournir ces services du transport.

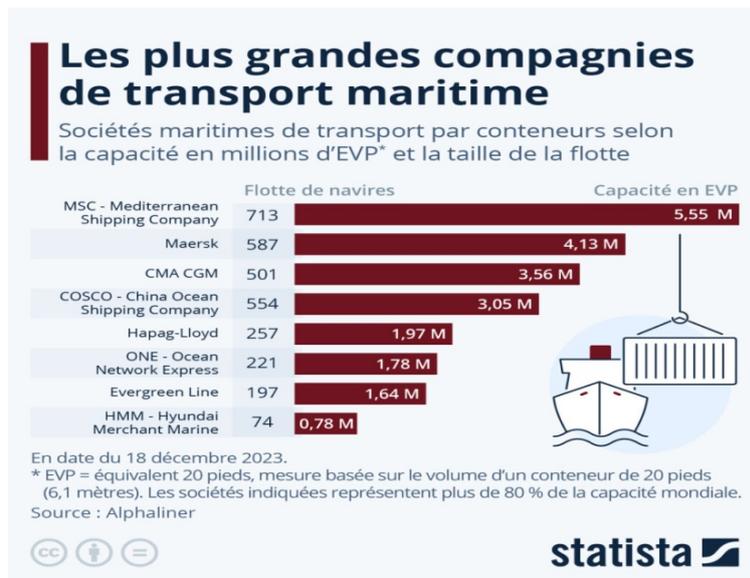


FIGURE 1.4 – Liste des plus grandes compagnies de transport maritime [2]

## Entreprise portuaire

Une entreprise portuaire est une organisation chargée de fournir des services portuaires à un ou plusieurs emplacements. Son principal domaine d'activité, en termes de valeur ajoutée, réside dans la prestation de ces services spécifiques[9].

Dans notre étude, l'entreprise DP WORLD Djazair est au centre de notre étude.

### c. Client(Importateur)

Un acteur économique engagé dans des activités d'importation, qu'il s'agisse d'une personne physique ou morale, qui acquiert des biens ou des services à l'étranger dans le dessein de les commercialiser sur le marché domestique[8].

## 2. Les auxiliaires de la SC portuaire

Les auxiliaires de transport sont des entités intermédiaires dont les activités sont étroitement liées et complémentaires. Leur objectif principal consiste à orchestrer la coordination des diverses opérations de transport au nom des expéditeurs. Ces auxiliaires peuvent inclure [43] :

### a. Agent maritime (consignataire)

Le consignataire agit en tant que mandataire d'une ou plusieurs compagnies maritimes dans une région spécifique. Sa responsabilité principale est de superviser le chargement et le déchargement des marchandises, et il perçoit une commission de l'armateur, généralement calculée en pourcentage du fret embarqué ou sur la base d'une commission préalablement négociée. En outre, l'armateur recourt aux services du consignataire pour gérer les formalités administratives, prendre en charge les besoins de l'équipage et superviser la gestion de la cargaison avant et pendant le séjour du navire dans le port.

### b. Transitaire

Également désigné comme commissionnaire, exerce en qualité d'intermédiaire entre le chargeur et le consignataire du navire. Son rôle essentiel réside dans la fourniture de conseils et d'informations à son mandant concernant l'organisation du transport des marchandises. Il peut intervenir soit en qualité de mandataire, soit en qualité de commissionnaire.

En qualité de mandataire, le transitaire assure le déplacement des marchandises à travers les frontières dans le cadre des opérations commerciales internationales. Sa responsabilité se limite à ses propres erreurs et il est tenu à une obligation de moyens.

En qualité de commissionnaire, il se charge de l'organisation du transport agissant en son propre nom, mais pour le compte de son client. Dans cette optique, il est soumis à une obligation de résultat.

### c. Non-Vessel Operating Common Carrier (NVOCC)

Les NVOCC sont des entreprises de transport maritime qui, bien qu'elles ne possèdent pas de navires, fournissent des services de transport maritime, se concentrant particulièrement sur la consolidation de marchandises, les transbordements et les opérations intermodales.

### d. Manutentionnaire

Le manutentionnaire est un entrepreneur spécialisé dans la manutention portuaire, chargé du chargement et du déchargement des navires marchands dans les ports. En plus de ces fonctions, il est également responsable de l'inspection, de la surveillance et de la sécurité des marchandises, ainsi que de la gestion des installations portuaires.

## 3. Les acteurs administratifs

Dans le cadre administratif de la SC portuaire, trois acteurs principaux se distinguent :

### a. Douane

La douane est une institution gouvernementale responsable de la réglementation et du contrôle des flux de marchandises à travers les frontières nationales. Elle applique les lois et règlements douaniers aux marchandises importées ou exportées, ainsi qu'à celles qui sont placées sous des régimes douaniers autorisés[31].

Les processus de contrôle douanier des conteneurs comprennent des étapes définissant le niveau d'examen exercé par les autorités douanières sur les marchandises transportées. Ces étapes, appelées circuits, se déclinent en trois niveaux sont :

**Circuit vert :** Ce circuit est spécifiquement conçu pour les opérateurs économiques agréés et permet le transport de marchandises sans inspection douanière préalable. Il concerne les marchandises considérées comme ne présentant aucun risque pour la sécurité et la santé publiques.

**Circuit orange :** Ce circuit est dédié à l'examen documentaire des marchandises. Les agents douaniers scrutent la validité des documents joints aux marchandises et des déclarations

douanières. Ce processus concerne les marchandises jugées à risque modéré à faible pour la sécurité publique et la santé.

**Circuit rouge :** Ce circuit est le plus rigoureux, impliquant à la fois un contrôle documentaire et physique des marchandises. Les agents douaniers vérifient la conformité des documents, des déclarations douanières et des marchandises elles-mêmes. Il est réservé aux marchandises présentant un risque élevé pour la sécurité et la santé publiques.

### b. Assurance

L'assurance maritime représente un pilier fondamental de la gestion des risques associés au transport de marchandises par voie maritime. Son objectif est de préserver les parties concernées des pertes financières résultant d'événements divers tels que les naufrages, les collisions, les incendies ou le vol de marchandises[3].

### c. Banque

Les établissements bancaires occupent une position centrale dans le circuit des opérations d'import-export. Ils assurent le financement des transactions commerciales internationales ainsi que le transfert de fonds entre les parties impliquées, à savoir les importateurs et les exportateurs. La domiciliation bancaire est un élément clé permettant d'identifier et de sécuriser ces transactions à l'échelle mondiale.

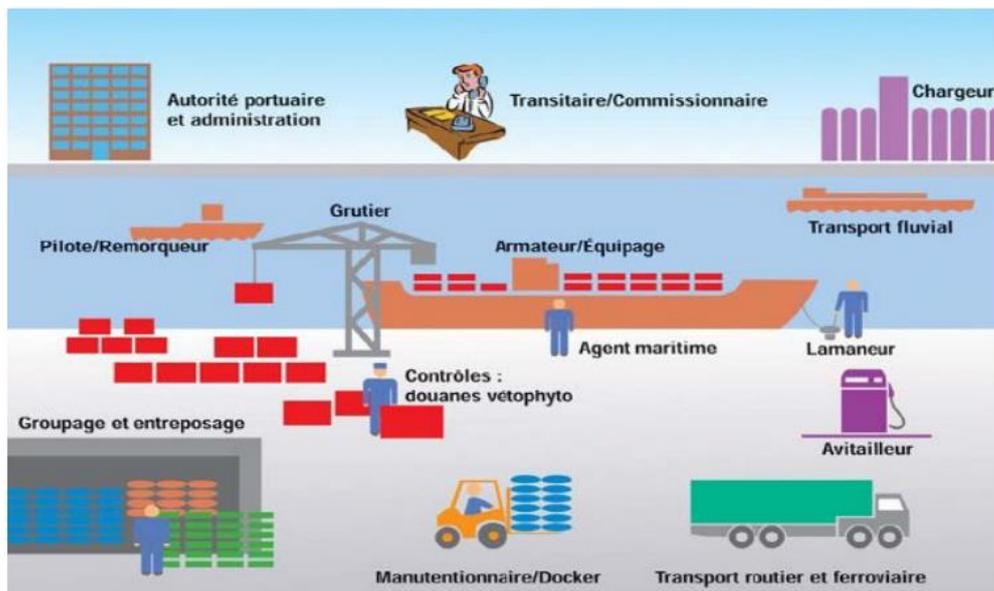


FIGURE 1.5 – Intervenants dans la Supply Chain portuaire[1]

## 1.4 Conteneurisation et Terminal à conteneurs

Dans cette section, nous abordons la notion de conteneurisation, en particulier en identifiant les divers types de conteneurs ainsi que leurs structures et dimensions. Ensuite, nous examinons l'adaptation du terme "terminal à conteneurs" en fonction de leur structure, tout en abordant les défis associés à ces installations terminales.

### 1.4.1 Conteneurisation

La conteneurisation a été lancée aux États-Unis entre 1936 et 1956 grâce à l'initiative de Malcolm McLean, marquant une adoption majeure des conteneurs comme mode principal de transport pour les biens et les marchandises. Cette pratique consacre le conteneur en tant que pilier incontournable de ce secteur. Selon la revue professionnelle du port d'Alger, un conteneur est une boîte conçue pour le transport de marchandises, renforcée, empilable et capable d'être transférée horizontalement ou verticalement[45].

Il est également défini comme un équipement de transport :

- Robuste et suffisamment solide pour supporter des utilisations répétées.
- Conçu pour faciliter le transport des biens par différents modes de transport sans rupture de charge.
- Équipé d'accessoires permettant une manipulation aisée, notamment le transfert d'un mode de transport à un autre.
- Destiné à être chargé et déchargé facilement.
- Empilable avec un volume intérieur de  $1m^3$  ou plus.



FIGURE 1.6 – Conteneur standard de 20 pieds[5]

Le choix du type de conteneur utilisé dépend du type de marchandise qui sera stockée à l'intérieur. Diverses catégories de conteneurs sont disponibles pour répondre aux besoins spécifiques des différentes marchandises. Parmi ces types, on distingue [43] :

#### a. Le conteneur standard

Également connu sous le nom de Dry, destiné aux articles généraux et à tout élément sec. Il s'agit d'un conteneur entièrement clos avec des portes aux extrémités, et il existe des

variantes avec des portes latérales spécialement conçues pour faciliter le chargement et le déchargement d'un conteneur placé sur un wagon.

### **b. Le conteneur frigorifique**

Connu sous le nom de reefer, est spécialement conçu pour le transport de marchandises sensibles à la température, telles que les produits alimentaires. Ces conteneurs sont équipés de dispositifs de réfrigération et de chauffage pour maintenir une température constante pendant le transport, et sont généralement branchés sur une source d'énergie.

### **c. Le conteneur ventilé (ventilated)**

Les conteneurs ventilés sont utilisés pour les marchandises nécessitant une ventilation, comme le café en sac par exemple. Ils sont équipés de dispositifs d'aération sur les côtés pour assurer une circulation d'air adéquate.

### **d. Le conteneur citerne (tank)**

Les conteneurs citernes sont spécialement conçus pour le transport de liquides et de gaz, qu'il s'agisse de produits alimentaires comme le lait ou l'huile, ou de produits chimiques comme le pétrole.

### **e. Le conteneur sans toit (open-top)**

Les conteneurs sans toit sont équipés de bâches ou de panneaux amovibles pour permettre le chargement vertical d'objets volumineux ou de vrac pondéreux.

### **f. Le conteneur à pont (flat rack)**

Les conteneurs à plateforme sont utilisés pour transporter des marchandises volumineuses ou de grande taille. Ils sont équipés de parois d'extrémité fixes ou amovibles pour faciliter le chargement et le déchargement.

La norme ISO standardise les dimensions des conteneurs utilisés à travers le monde. Bien que plusieurs tailles existent, certaines catégories tendent à devenir moins courantes, laissant principalement place aux conteneurs de 20 et 40 pieds, communément appelés EVP. Ces conteneurs doivent pouvoir être transportés aussi bien par route, par train que par bateau, et doivent donc respecter les limites de gabarit définies pour ces différents modes de transport [27] :

- Deux longueurs sont généralement utilisées : 20 pieds (environ 6,06 mètres) et 40 pieds (environ 12,19 mètres).
- Deux largeurs sont généralement utilisées : 20 pieds (environ 6,06 mètres) et 40 pieds (environ 12,19 mètres).
- La largeur standard est de 8 pieds (environ 2,44 mètres).
- Pour la hauteur, deux options sont disponibles : 8 pieds 6 pouces (environ 2,59 mètres) et 9 pieds 6 pouces (environ 2,89 mètres).
- La masse maximale autorisée est de 30,480 tonnes.

Le tableau ci-dessous présente les dimensions des différents types de conteneurs mentionnés précédemment.

TABLE 1.3 – Dimensions et volumes des différents types de conteneurs maritimes [54]

| Type de conteneur  | Dimensions extérieures (m) | Dimensions intérieures (m) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Poids à vide (t) | Poids maximal autorisé (t) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------|
| Dry 20 pieds       | 6,06 x 2,44 x 2,59         | 5,90 x 2,35 x 2,40         | 33                       | 2,3              | 25                         |
| Dry 40 pieds       | 12,19 x 2,44 x 2,59        | 12,03 x 2,35 x 2,89        | 67                       | 3,5              | 27,6                       |
| Open-top 20 pieds  | 6,06 x 2,44 x 2,59         | 5,90 x 2,33 x 2,35         | 32,3                     | 2,15             | 26                         |
| Open-top 40 pieds  | 12,19 x 2,44 x 2,59        | 12,03 x 2,33 x 2,59        | 65                       | 4,30             | 28                         |
| Reefer 20 pieds    | 6,06 x 2,44 x 2,59         | 5,30 x 2,25 x 2,20         | 23                       | 2,9              | 27                         |
| Reefer 40 pieds    | 12,19 x 2,44 x 2,59        | 11,43 x 2,25 x 2,20        | 55                       | 4,70             | 34                         |
| Flat rack 20 pieds | 6,06 x 2,44 x 2,59         | 5,90 x 2,33 x 2,35         | 28,8                     | 2,4              | 30                         |
| Flat rack 40 pieds | 12,19 x 2,44 x 2,59        | 12,03 x 2,33 x 2,35        | 54                       | 5,0              | 40                         |

### 1.4.2 Terminal à conteneurs

Le terminal portuaire est un endroit où les navires comme les vraquiers, les pétroliers et les minéraliers viennent charger ou décharger leurs marchandises[38].

Quant au terminal à conteneurs, c'est un peu comme un quartier spécialisé dans les ports. C'est un espace bien aménagé avec des quais, des entrepôts, des grues, tout ce qu'il faut pour manipuler efficacement les conteneurs. C'est là que ça se passe quand on parle de déplacer ces grosses boîtes métalliques d'un bateau à un autre moyen de transport[48].

Les terminaux à conteneurs peuvent être aménagés sous différentes formes, mais ils ont généralement deux zones principales : les quais où les navires chargent et déchargent les conteneurs, et la zone terrestre où tout se déplace une fois à terre. Pour avoir une idée plus concrète de ce à quoi ressemble un terminal à conteneurs, La figure ci-dessous présente les

diverses zones d'un terminal à conteneurs :

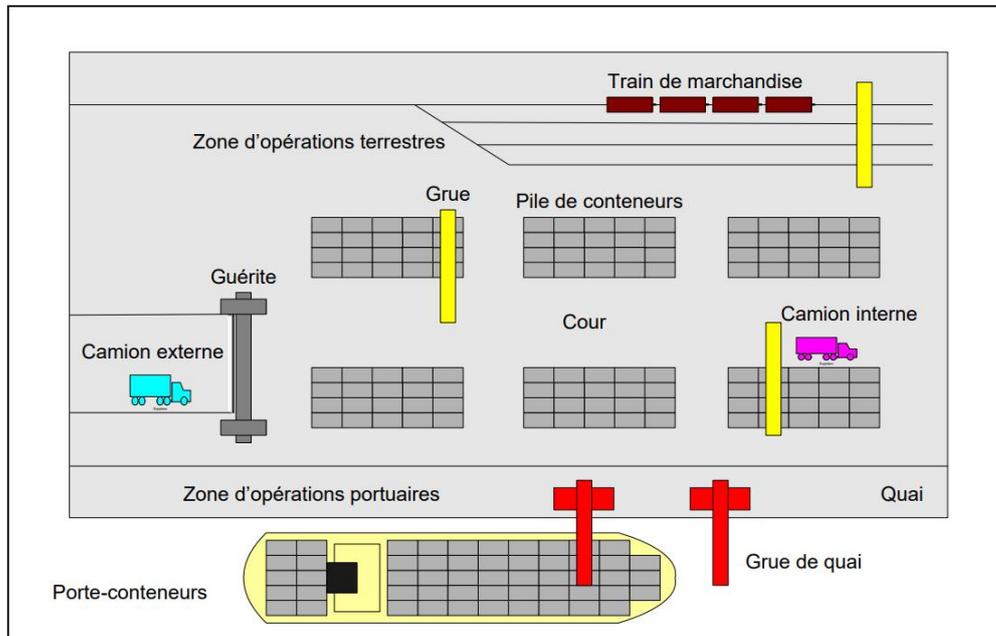


FIGURE 1.7 – Représentation simple de terminal à conteneurs[35]

### a. La zone d'opérations portuaires

Cette zone constitue l'espace stratégique situé entre le quai d'accostage des navires et la zone de stockage des conteneurs dans un terminal. Elle est dédiée aux opérations de chargement et de déchargement des porte-conteneurs ainsi qu'aux transferts de conteneurs entre les navires et l'aire de stockage. Cette zone revêt une importance capitale pour l'opérateur portuaire en termes d'infrastructures et d'équipements de manutention des conteneurs, jouant un rôle crucial dans la compétitivité du port en influençant la durée de service des navires[47].

### b. La zone de stockage

Cette zone est réservée à l'entreposage des conteneurs une fois déchargés des navires ou en attente de chargement. Son rôle est de gérer les flux de conteneurs entre les navires et les autres moyens de transport, ce qui facilite le tri et la manipulation des conteneurs selon divers critères.

### c. La zone d'opérations terrestres

La zone d'opérations terrestres est un maillon essentiel dans la SC portuaire. Elle fait le lien entre le terminal et les moyens de transport terrestres tels que les camions et les trains. C'est là que le personnel du terminal gère l'arrivée et le départ des camions, veillant au bon déroulement des opérations en utilisant plusieurs voies d'accès. Pour faciliter ces opérations, le terminal est équipé d'engins de manutention et de transbordement de conteneurs, visant à optimiser l'efficacité et la rapidité du processus de transport des marchandises.

Pour pouvoir travailler efficacement, le terminal est équipé de différents outils qui entrent en action dès l'arrivée du navire. Ces outils sont utilisés pour charger et décharger les conte-

neurs, ainsi que pour les déplacer et les stocker. Le tableau répertoriant les divers équipements est présenté dans l'annexe 1.

### 1.4.3 Problèmes liés au terminal à conteneurs

La gestion du terminal à conteneurs est extrêmement complexe en raison de la simultanéité de multiples processus, des déplacements des divers équipements de manutention et de la planification des affectations de position des conteneurs dans les différentes zones de stockage. Cette complexité génère divers problèmes, lesquels ont été répartis dans différentes zones du terminal. Parmi ces problèmes [22] :

#### 1. Les problèmes liés aux quais :

##### a. Affectation des quais

L'allocation des postes à quai constitue un défi complexe au cœur de la gestion portuaire, visant à réduire les temps d'attente des navires tout en maximisant l'utilisation des quais. Malgré la limitation des postes d'amarrage et les variations dans les temps de manutention des conteneurs, ce processus nécessite la prise en compte de nombreuses contraintes telles que la taille des navires, la profondeur des quais, les plages horaires, les priorités accordées aux navires et les préférences d'amarrage. L'objectif principal est d'optimiser l'occupation des quais tout en garantissant une efficacité opérationnelle maximale, ce qui demande un équilibre délicat entre la réduction des délais d'attente des navires et la maximisation de l'utilisation des infrastructures portuaires.

##### b. Arrimage de conteneurs

L'arrimage des conteneurs implique d'attribuer des positions à ces derniers à bord du navire tout en préservant sa stabilité et en limitant les mouvements inutiles. Il est essentiel de déterminer le nombre de quais requis et de mettre en place un plan de chargement/déchargement prenant en considération l'ordre des conteneurs à destination de divers ports successifs.

##### c. Ordonnancement des grues de quai

L'ordonnancement des grues de quai est un problème de gestion qui consiste à attribuer un nombre limité de grues de quai aux différentes tâches de chargement et de déchargement, tout en planifiant les mouvements de ces opérations. Ce processus nécessite une coordination étroite entre l'affectation des navires aux postes à quai et l'affectation des grues de quai aux navires. En effet, le nombre de grues affectées à un navire a un impact direct sur la durée de séjour du navire au quai, ce qui rend l'ordonnancement des grues de quai un élément clé pour optimiser les opérations portuaires.

### 2. Problèmes liés à la zone de stockage :

#### a. Ordonnancement des grues de la zone de stockage

Une attention particulière doit être portée à l'ordonnancement des grues dans la cour, car cela a un impact direct sur les opérations de chargement et de déchargement et de stockage des conteneurs. L'objectif principal est de réduire la congestion du trafic et d'optimiser l'efficacité en minimisant le nombre de grues nécessaires pour ces tâches.

#### b. Problème de Stockage de Conteneurs

Il est vital pour les terminaux portuaires d'améliorer la capacité de leurs installations, ce qui nécessite une gestion efficace des ressources et de l'espace de stockage. L'allocation des emplacements de stockage au sein d'un bloc représente ainsi l'un des principaux défis à relever. Il est impératif de minimiser les coûts engendrés par les déplacements inutiles résultant d'une mauvaise organisation des conteneurs empilés, étant donné que cela a un impact significatif sur les temps d'attente des navires, qui demeurent inactifs à quai pendant les opérations de manutention.

#### c. Ordonnancement des véhicules de transfert interne des conteneurs

Les moyens de transport automatisés tels que les AGV et les ITV sont de plus en plus intégrés dans les opérations portuaires. Leur rôle consiste à déplacer les conteneurs des postes à quai vers les zones de stockage. L'enjeu principal réside dans l'efficacité de l'affectation de ces véhicules aux différentes tâches afin de minimiser la distance totale parcourue. Cette distance est influencée par les déplacements à vide, les itinéraires assignés aux véhicules et la congestion du terminal. Il est essentiel d'évaluer l'efficacité des politiques de partage des véhicules entre les navires pour réduire le temps global nécessaire pour le service d'un navire. L'optimisation de cette phase revêt une importance capitale dans l'amélioration globale de la gestion du terminal.

## 1.5 Simulation des terminaux à conteneurs

L'objectif fondamental des entreprises portuaires consiste à résoudre de manière efficace les problèmes opérationnels afin de minimiser les pertes de temps et les coûts, tout en garantissant la satisfaction des clients. Pour identifier de manière exhaustive les racines des problèmes, une modélisation approfondie de leur environnement est nécessaire afin de mener une analyse précise. De plus, bien que la recherche de solutions soit une priorité, les contraintes budgétaires constituent un défi majeur, car investir dans des solutions potentielles présente des risques financiers. Par conséquent, avant de mettre en œuvre des solutions, il est impératif de simuler et de valider leur pertinence et leur adaptabilité à l'environnement spécifique du port. Ainsi, la simulation émerge comme une stratégie cruciale dans la résolution de ces problématiques.

### 1.5.1 Simulation

Selon Robert Shannon : «*La simulation est le processus de design d'un modèle d'un système réel et de mener des expérimentations avec ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système et d'évaluer diverses stratégies pour le fonctionnement du système en se basant sur un certain nombre de critères.*»[49]

Selon cette définition, la simulation implique l'utilisation d'un modèle informatique pour représenter les divers processus d'un environnement donné, en vue d'évaluer, tester et comparer différents scénarios en fonction d'indicateurs prédéfinis.

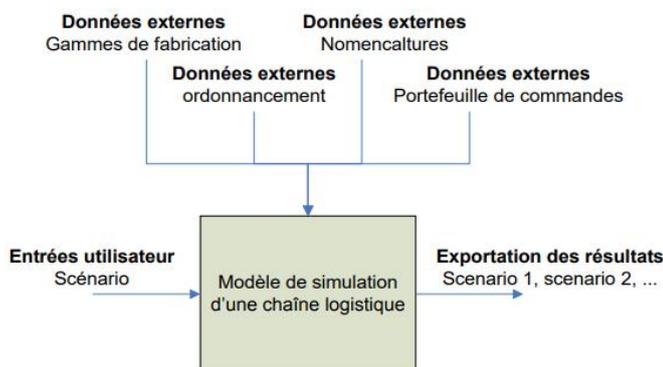


FIGURE 1.8 – Concept de la simulation en boîte noire[37]

Selon Drogoul : « *On nomme simulation la démarche scientifique qui consiste à réaliser une reproduction artificielle, appelée modèle, d'un phénomène réel que l'on désire étudier, à observer le comportement de cette reproduction lorsqu'on en fait varier certains paramètres, et à en induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence de variations analogues. La démarche de simulation passe donc par trois étapes distinctes : l'étape de modélisation, qui consiste à construire le modèle du phénomène à étudier, l'étape d'expérimentation, qui consiste à soumettre ce modèle à un certain type de variations, et l'étape de validation, qui consiste à confronter les données expérimentales obtenues avec le modèle à la réalité.* »[33]

Cette deuxième définition vient enrichir la première en détaillant les différentes étapes du processus de simulation, mettant en lumière la construction du modèle, les expérimentations réalisées sur celui-ci pour évaluer divers scénarios, et enfin la validation des résultats obtenus par confrontation avec la réalité.

La simulation est une approche largement utilisée dans divers domaines pour analyser et appréhender le fonctionnement des systèmes complexes. Ses objectifs peuvent différer en fonction des besoins particuliers de chaque étude, ce qui peut être synthétisé dans le tableau ci-dessous :

TABLE 1.4 – Objectifs de la simulation[34]

| Objectifs                                       | Explication  |
|---|--|
| Validation,<br>Évaluation,<br>Vérification      | La simulation a comme objectif de tester une hypothèse du modèle du système de référence, de le vérifier ou d'accréditer la théorie qui a servi à le construire.         |
| Communication,<br>Formation,<br>Visualisation   | La simulation a comme objectif de montrer et de partager le modèle de la dynamique du système de référence.  |
| Compréhension,<br>Exploration,<br>Explicitation | La simulation sert à comprendre le fonctionnement du système de référence en considérant le modèle comme une réplique miniature qui pourra être étudiée plus facilement. |
| Contrôle,<br>Action,<br>Pilotage                | La simulation a comme objectif de servir de support à une prise de décision ou à un contrôle qui influera sur l'état (réel) du système de référence.                     |
| Prévision,<br>Prédiction,<br>Anticipation       | La simulation sert à prévoir les évolutions possibles du système de référence en fonction d'évolutions ou de perturbations spécifiques.                                  |

### 1.5.2 Méthodologie de la simulation

La réalisation d'une simulation d'un cas réel nécessite une approche méthodologique rigoureuse, articulée autour de plusieurs phases distinctes. Dans cette optique, nous présentons une méthodologie générale conçue pour encadrer l'intégralité du processus de simulation. L'objectif de cette approche est d'établir un cadre conceptuel robuste tout en assurant la disponibilité de toutes les données essentielles avant le début de la simulation. De manière habituelle, une simulation se déroule selon quatre grandes étapes, à savoir [37] :

#### Étape 01 : Analyse du problème

L'analyse du problème est d'une grande importance, c'est dans cette étape que nous devons définir avec précision ce qu'on veut mettre en évidence avec la simulation, et quelle précision on attend. On détermine des indicateurs de performance qui vont permettre de vérifier si on a atteint les objectifs qui ont été fixés. Enfin, il est nécessaire de fournir les données numériques au modèle.

La figure ci-dessous illustre le déroulement de cette étape :

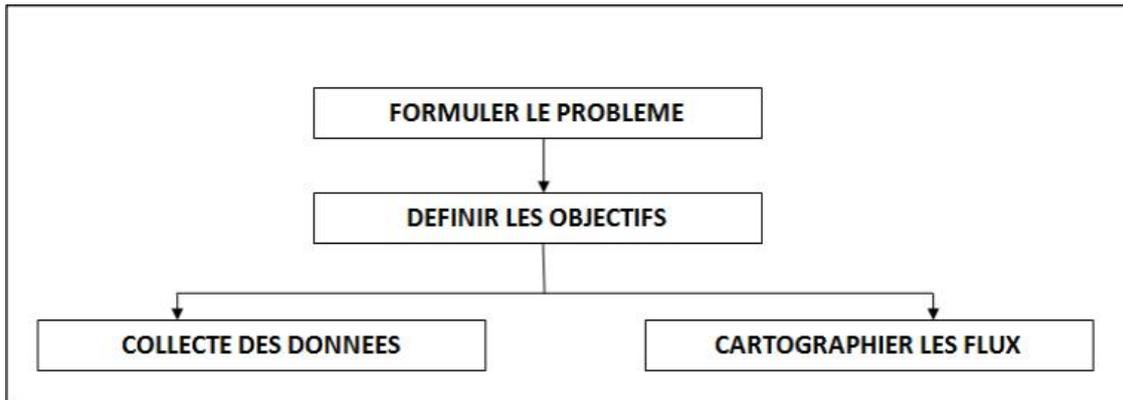


FIGURE 1.9 – Schéma de l'étape analyse du problème[23]

### Etape 02 : Modélisation et programmation

L'évolution des progiciels spécialisés facilite de manière significative la construction des modèles. Une fois le modèle élaboré, il est impératif de procéder à une vérification minutieuse des règles logiques qui décrivent le flux, afin de garantir leur adéquation avec les exigences définies. Cette étape englobe des tests de simulation visant à confirmer le bon fonctionnement du modèle. Elle est ensuite conclue par une phase de validation, qui peut comprendre une comparaison entre les résultats simulés et les données réelles, le cas échéant. Les analyses statistiques jouent un rôle crucial dans cette démarche de validation, permettant d'établir une corrélation entre les résultats obtenus par simulation et ceux observés dans le contexte réel.

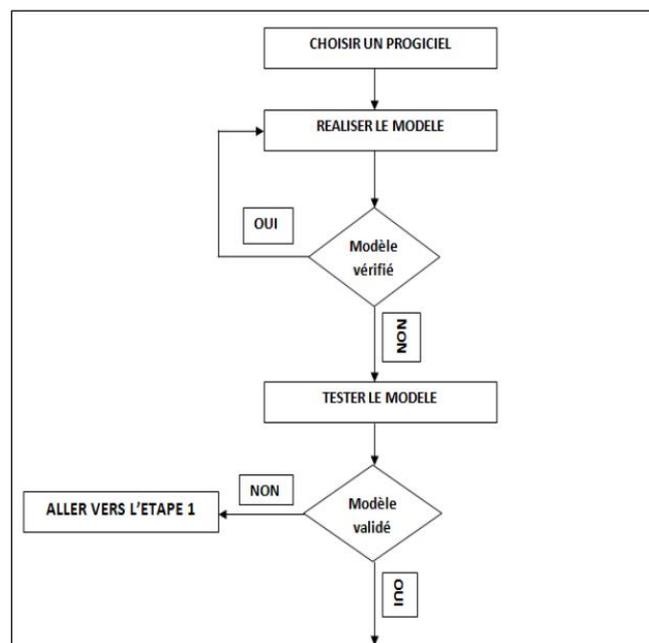


FIGURE 1.10 – Schéma sur l'étape de modélisation et programmation[23]

**Etape 3 : Expérimentation sur le Modèle (Simulation)**

L'exploitation de la simulation représente l'étape où le modèle est utilisé comme un outil expérimental pour évaluer le comportement dynamique du système. Préalablement, il est nécessaire d'avoir défini les données sur lesquelles agir pour atteindre les objectifs fixés lors de la première étape. Chaque scénario ou expérimentation se caractérise donc par un ensemble de données variables à chaque itération du processus expérimental. Enfin, il est crucial d'interpréter les résultats générés par la simulation. Dans le cas de modèles stochastiques, cela requiert une maîtrise des concepts statistiques tels que l'intervalle de confiance.

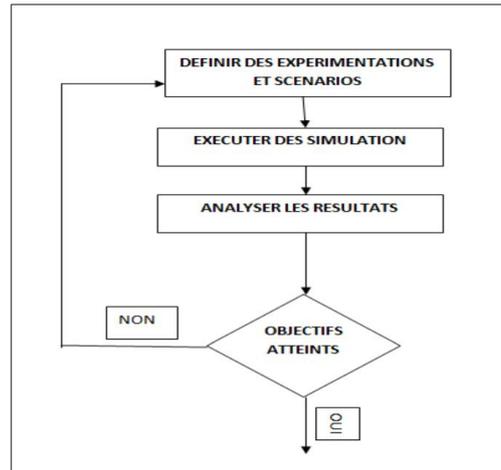


FIGURE 1.11 – Schéma sur l'expérimentation sur le Modèle[23]

**Etape 4 : Rapport et conclusion** Cette dernière phase revêt une importance cruciale vis-à-vis du commanditaire de l'étude de simulation. En effet, celui-ci peut ne pas posséder une expertise approfondie dans ce domaine, d'où la nécessité de présenter les résultats de manière accessible et claire.

La figure suivante offre une vue détaillée de ces quatre grandes étapes.

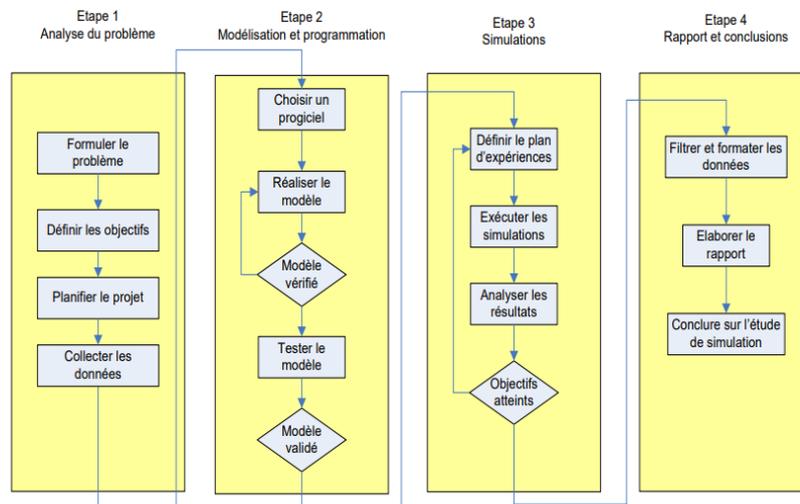


FIGURE 1.12 – Processus de modélisation et simulation[37]

La classification des simulations est une démarche répandue visant à une meilleure compréhension des divers types de modèles employés. Parmi ces classifications, on distingue[37] :

### A. Modèles statiques

Ils ne tiennent pas compte du temps dans leur fonctionnement.

### B. Modèles dynamiques

Le comportement de ces modèles varie en fonction du temps. Au sein des modèles dynamiques, on distingue :

#### Modèles à événements discrets (ou discontinus) :

Les changements d'état se produisent uniquement lors d'événements spécifiques tels que le début ou la fin d'une opération, la mise en attente d'une pièce dans un stock, ou la libération d'une ressource.

#### Modèles continus :

Ils conviennent mieux aux flux continus et utilisent des équations mathématiques pour représenter les changements d'état qui se produisent de manière continue dans le temps. Les valeurs des variables d'état sont recalculées périodiquement en fonction d'un pas de temps défini par ces équations.

#### Modèles combinés (ou mixtes) :

Ils intègrent à la fois des éléments de modélisation continue et discrète.

### 1.5.3 Simulateurs des opérations portuaires de terminal à conteneurs

La stratégie principale dans les terminaux à conteneurs repose sur la rapidité des processus et une gestion efficace. Cependant, les contraintes de temps et de coût sont des barrières importantes qui influent grandement sur leur développement. C'est pourquoi les terminaux à conteneurs se tournent vers le développement informatique, en particulier les logiciels. Plutôt que de se concentrer uniquement sur les opérations en cours, ces terminaux mènent des simulations pour évaluer la circulation des conteneurs et cherchent des scénarios pour les améliorer. Ces simulations sont effectuées à l'aide de logiciels spécifiques, qui sont ensuite implémentés sur le terrain après validation.

Les logiciels les plus couramment utilisés dans les terminaux à conteneurs à des fins de simulation sont :

#### 1. Arena

Un simulateur à événements discrets utilisant le langage SIMAN pour la modélisation du système à l'aide de modules de contrôle. Il est compatible avec certaines technologies Microsoft telles que Visual Basic, Microsoft Visio, Excel, Access et ActiveX[15].

### 2. MicroPort

Une plateforme de simulation dotée d'une interface utilisateur dynamique en 3D, intégrant les fonctionnalités d'un système d'information géographique (SIG). Elle est développée en langages de programmation C/C++ et Lua, et comprend des modules généralisés pour les opérations portuaires[52].

### 3. Flexsim

Un logiciel de simulation à événements discrets permettant la modélisation en C++ ou en FlexScript. Il propose des modules pour simuler différents environnements comme les ateliers de production, les terminaux portuaires, les hôpitaux, etc. C'est le logiciel que nous avons utilisé[15].

### 4. AnyLogic

AnyLogic est un logiciel de simulation avancé développé par The AnyLogic Company, anciennement connue sous le nom de XJ Technologies, en Russie. Contrairement à d'autres outils de simulation, AnyLogic se distingue par son interface utilisateur intuitive et adaptative, ainsi que par son intégration complète de plusieurs méthodologies de simulation : simulation basée sur les agents, dynamique des systèmes, et événements discrets. Ces approches peuvent être combinées pour créer des modèles extrêmement réalistes et proches du monde réel. Grâce à son interface graphique moderne et la possibilité d'utiliser le langage de programmation Java pour le développement de modèles, AnyLogic est particulièrement adapté à la conception de processus et de systèmes de transport, y compris les hubs. Le logiciel permet également de modéliser des entrepôts en tant qu'agents dans la chaîne d'approvisionnement, tout en utilisant la méthode des événements discrets pour représenter les processus internes des entrepôts[16].

Pour récapituler les caractéristiques de chaque simulateur, le tableau ci-dessous présente une comparaison détaillée des fonctionnalités disponibles :

TABLE 1.5 – Comparaison des fonctionnalités des logiciels de simulation[44]

| Logiciel                    | Analyse des sorties  | Exécution par lots/-<br>Conception expérimentale  | Outils de support pour l'emballage   | Exporter l'animation |
|-----------------------------|--|---|--|----------------------|
| AnyLogic                    | Outils statistiques, divers graphiques, histogrammes, etc. | Simulation, optimisation (y compris Monte Carlo et analyse de sensibilité), et expériences personnalisées | Génère des applets Java et des applications avec des fonctions de simulation et d'optimisation complètes | +                    |
| Arena                       | Analyseur de sortie Arena pour l'analyse statistique       | Analyseur de processus Arena  | Fonctionnement transparent, aucun outil nécessaire   | +                    |
| ExtendSim Suite             | Calcul facile des intervalles de confiance                 | Exécution automatisée de différents scénarios   | Lecteur téléchargeable gratuitement sur le site web qui exécute les modèles                              | -                    |
| Flexsim Simulation Software | Graphiques Flexsim exportables vers Excel et Access        | Expérimentateur Flexsim   | -  | +                    |
| ProModel Optimisation Suite | Rapports d'analyse des sorties vers Excel et Access        | Scénarios prédéfinis illimités pour expérimenter sur les paramètres                                       | Modèles emballés dans le logiciel ; vue utilisant le ProModel Player gratuit                             | -                    |
| SIMUL8 Professional         | Inclus dans le produit principal                           | Inclus dans le produit principal  | Inclus dans le produit principal   | +                    |

Dans le cadre de notre solution, nous avons utilisé AnyLogic, un logiciel de simulation qui offre une gamme variée d'outils, tels que ceux décrits dans le tableau comparatif des fonctionnalités des logiciels de simulation.

## Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis d'éclairer la partie théorique de notre étude en structurant notre analyse autour de concepts fondamentaux tels que la Supply Chain et le port. Nous avons ensuite approfondi notre exploration en nous concentrant sur le cœur de notre étude : la Supply Chain portuaire. Cette démarche nous a permis d'identifier les multiples problématiques rencontrées dans ce domaine. Enfin, nous avons concrétisé notre étude en abordant la simulation des terminaux à conteneurs, notamment à travers l'utilisation d'AnyLogic, en explicitant sa pertinence dans le contexte spécifique des terminaux à conteneurs. Cette compréhension approfondie de la théorie nous prépare adéquatement à aborder la phase pratique de notre étude.

# Chapitre 2

## État des lieux

# Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons le cadre de notre étude en suivant une approche structurée. Nous commencerons par une analyse du marché du transport maritime, tant à l'échelle internationale que nationale. Ensuite, nous examinerons l'entreprise mère, DP WORLD, avant de nous concentrer sur DP WORLD Djazaïr, en détaillant son historique, sa vision, ses valeurs, ses fonctions, ses objectifs, ses services et sa structure organisationnelle. Par la suite, nous procéderons à un diagnostic de la structure du terminal et des équipements. Nous analyserons également la Supply Chain de cette entreprise afin d'identifier le cœur de notre problématique. Enfin, nous formulerons la problématique centrale de notre étude.

## 2.1 Marché du transport maritime

Cette section vise à fournir une analyse du marché du transport maritime, aux niveaux international et national, constituant le cadre de référence de notre étude.

### 2.1.1 Marché mondial du transport maritime

Le transport maritime au cœur de l'économie mondiale assure plus de 80% du commerce international. Il reste le principal moyen de transporter des marchandises à travers les océans, en utilisant des conteneurs standardisés pour les stocker et les organiser. En conséquence, il représente un élément clé pour évaluer l'efficacité et la productivité de cette industrie.

La figure suivante montre l'évolution du trafic mondial des conteneurs :

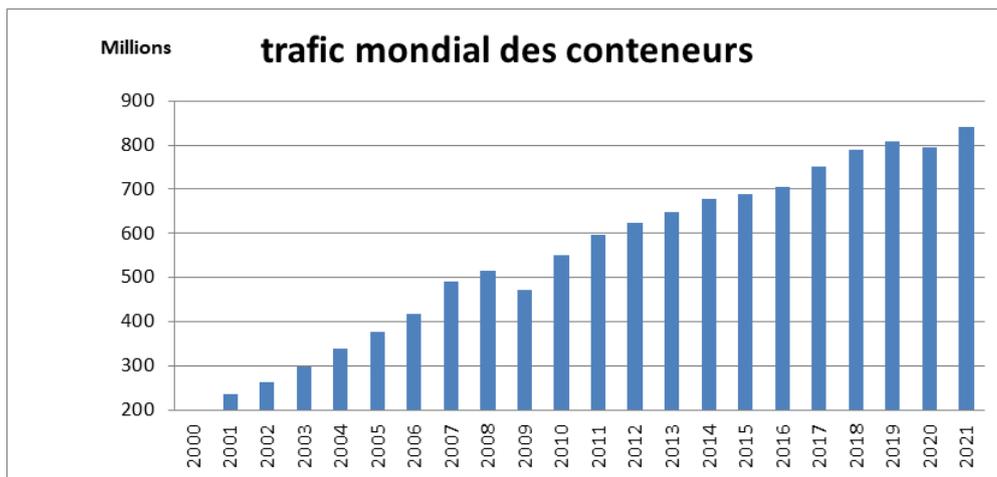


FIGURE 2.1 – Évolution du trafic mondial des conteneurs [12]

Non observons une croissance notable du volume de conteneurs en millions au cours des dernières décennies, tel que révélé par le graphique présenté ci-dessous. En effet, le nombre de conteneurs est passé de 224,774536 millions en 2000 à 846,635534 millions en 2021, illustrant

ainsi une expansion significative du commerce mondial et soulignant l'importance croissante du transport maritime de conteneurs dans la Supply Chain mondiale.

Afin de procéder à une analyse approfondie de cette croissance dans l'évolution de ce secteur, la figure suivante illustre les principaux ports commerciaux en 2005 et en 2021.

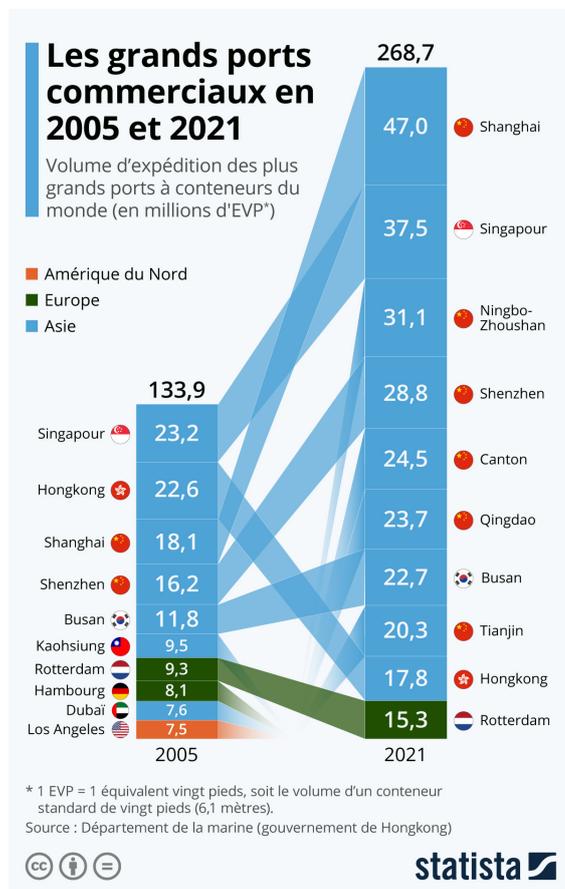


FIGURE 2.2 – Principaux ports commerciaux à travers le monde en 2005 et 2021[4]

Nous remarquons une tendance de croissance significative dans plusieurs grands ports du monde entre 2005 et 2021. En Chine, par exemple, les quatre ports répertoriés (Shanghai, Ningbo-Zhoushan, Shenzhen et Qingdao) ont enregistré une croissance remarquable, avec Shanghai voyant son volume de trafic plus que doubler au cours de cette période. Bien que le volume du trafic de conteneurs ait augmenté à Singapour et à Hong Kong, la croissance observée dans ces ports n'a pas été aussi marquée que celle des ports chinois. De même, à Busan en Corée du Sud, l'augmentation du volume du trafic de conteneurs a été modérée. Enfin, Los Angeles aux États-Unis a affiché la plus faible augmentation du volume de trafic de conteneurs parmi les ports répertoriés, même si son volume a continué à augmenter entre 2005 et 2021.

### 2.1.2 Marché Algérien du transport maritime

L'Algérie est un pays de l'Afrique du Nord qui jouit d'une position maritime stratégique sur les plus grands axes de commerce maritime international. Il dispose de 13 ports de

commerce repartis sur une façade maritime longue de 1200 km. Sa population qui s'élève à plus de 43 millions est concentrée sur la bande littérale et dépendante du commerce maritime pour les activités économiques et pour ses besoins de consommation. Cette dépendance au commerce international se lit dans le volume de son commerce de marchandises qui s'élève à 60 milliards \$US courants et le commerce des services de transport qui dépasse 11 milliards \$US courants[50].

La figure ci-dessus montre l'évolution de trafic des conteneurs en Algérie

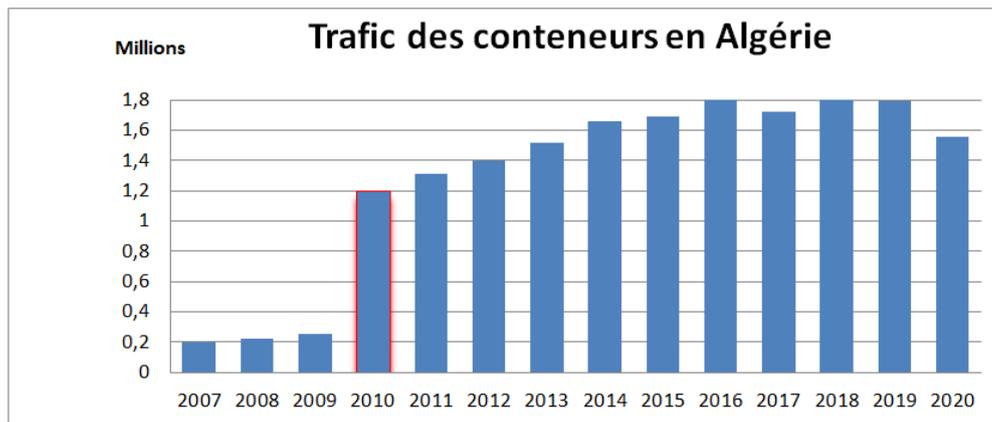


FIGURE 2.3 – Évolution du trafic des conteneurs en Algérie[13]

Nous observons une croissance remarquable en 2010 grâce à la modernisation des infrastructures portuaires en Algérie. Les autorités algériennes ont pris des mesures décisives pour réhabiliter les ports nationaux, notamment en établissant des partenariats stratégiques avec des acteurs étrangers tels que DPW (Dubai Ports WORLD) pour les ports d'Alger et de Djen Djen, ainsi que Protek International (Singapour) pour le port de Béjaïa. Ces initiatives ont eu un impact significatif en améliorant l'efficacité des opérations portuaires et en attirant davantage d'escales directes[36].

## 2.2 DUBAI PORT WORLD

Dans cette section, nous présenterons l'entreprise mère DP WORLD, en mettant en lumière son historique, ses ports à l'échelle mondiale, ainsi que sa position stratégique sur le marché algérien.

### 2.2.1 Présentation de DP WORLD

DP WORLD, une entreprise basée à Dubaï, aux Émirats arabes unis, se distingue comme un leader mondial de la logistique et de l'exploitation portuaire, appartenant au gouvernement de Dubaï. Avec une présence dans plus de 70 pays à travers plus de 430 unités commerciales et un effectif de plus de 100 000 employés, DP WORLD affiche une capacité

mondiale de manutention portuaire dépassant les 92 millions d'EVP, son port phare étant le Port Tonkish/Ruhr. Ayant investi près de 37 milliards de dollars dans ses opérations[53].

DP WORLD se démarque par sa gestion de terminaux portuaires modernes, ses services à valeur ajoutée tels que la logistique intégrée et les services douaniers, ainsi que son engagement envers l'innovation et la durabilité. En tant qu'acteur majeur du commerce international, DP WORLD continue de jouer un rôle essentiel dans la facilitation du mouvement des marchandises à travers le monde, soutenant ainsi la croissance économique et la connectivité mondiale.

DP WORLD a été fondé en 1999 par la fusion de la "Dubai Port Authority" et de DPI Terminals. Aujourd'hui, il est un leader mondial reconnu dans les infrastructures portuaires et logistiques, grâce à ses acquisitions stratégiques et à sa gestion innovante. Le tableau suivant présente l'histoire de cette entreprise :

TABLE 2.1 – Histoire de DP WORLD[32]

| Année | Événement  |
|-------|--|
| 1999  | DP Terminals est créée par la fusion de la "Dubai Port Authority" et de l'activité internationale de "DPI Terminals", devenant une filiale de Dubai WORLD.         |
| 2006  | Acquisition de PO, un acteur majeur du secteur portuaire britannique, pour 3,9 milliards de livres sterling, entraînant une controverse aux États-Unis.            |
| 2011  | Restructuration de la dette de DP WORLD, s'élevant alors à 25 milliards de dollars.  |
| 2014  | Acquisition de "Economic Zones WORLD" pour 2,6 milliards de dollars dans le cadre de la restructuration de la dette de Dubai WORLD.                                |
| 2017  | Acquisition de "Dubai Maritime City" et "Drydocks WORLD" pour 405 millions de dollars.   |
| 2018  | Acquisition de l'entreprise logistique danoise "Unifeed" pour 660 millions d'euros.  |
| 2019  | Acquisition de "Topaz Energy" pour 1 milliard de dollars.  |
| 2020  | Prise de participation de 44% dans Swissterminal.  |
| 2021  | Acquisition de la participation restante dans Imperial Logistics pour 887 millions de dollars.   |
| 2022  | Licenciement de 800 employés de PO Ferries, suivi de poursuites judiciaires du gouvernement britannique; exploration de la création d'une zone logistique à Gabès. |

### 2.2.2 Ports mondiaux de DP WORLD

DP WORLD occupe une position de premier plan dans le secteur des terminaux à conteneurs à l'échelle mondiale, gérant une impressionnante capacité de 92 millions EVP. L'entreprise se concentre principalement sur les marchés émergents et se distingue par son expertise dans le traitement de cargaisons à forte valeur ajoutée, qu'il s'agisse d'importations ou d'exportations.

Dans cette optique, la figure suivante offre un aperçu des ports exploités par DP WORLD à travers le monde.



FIGURE 2.4 – Portée mondiale de DP WORLD[11]

En mettant l'accent sur notre pays « l'Algérie » dans la figure précédente , nous identifions deux ports appartenant à DP WORLD : DP WORLD Djazair et DP WORLD Djen Djen.



FIGURE 2.5 – Portes de DP WORLD en Algérie[6]

### 2.2.3 Place de DP WORLD dans le marché portuaire Algérien

Le titre de DP WORLD Djazair en tant que leader sur le marché algérien est solidement étayé par sa part de marché remarquable. En 2021, le terminal à conteneurs de DP WORLD a capté une part de marché significative de 26 %, et cette part a encore augmenté pour atteindre 58 % en 2022, reflétant ainsi sa position prédominante dans le volume global de conteneurs au port d'Alger. La présence de DP WORLD ne se limite pas seulement aux services maritimes, mais englobe également des solutions terrestres complètes. Forte de systèmes et d'équipements de pointe, l'entreprise offre une productivité accrue. Son personnel hautement qualifié garantit une qualité de service exceptionnelle, répondant ainsi efficacement aux exigences des clients. La reconnaissance de l'importance stratégique du port d'Alger en tant que pivot crucial entre l'Afrique du Nord, l'Europe et la Méditerranée a guidé les efforts de DP WORLD. L'équipe à Djazair s'engage à exploiter sa connaissance approfondie du secteur pour renforcer les liens, ouvrir de nouvelles opportunités commerciales et stimuler le développement économique local en facilitant le flux des marchandises. Grâce à d'importants investissements, la capacité du terminal de DP WORLD a considérablement augmenté, passant de 250 000 EVP à 755 600 EVP par an. Les délais d'attente des navires ont été considérablement réduits, passant de 10 jours en 2009 à moins d'un jour aujourd'hui pour les navires plus petits. De plus, le port peut désormais accueillir des navires transportant jusqu'à 2 000 EVP, avec une diminution de 50 % du temps d'attente moyen pour les grands navires. DP WORLD Djazair s'est également distingué en étant le premier terminal à conteneurs du pays à mettre en place une surveillance vidéo intégrale. Ces améliorations ont eu un impact significatif sur les exportations locales, hors pétrole et gaz, qui ont augmenté de 1,5 % à 4 % en 2022[14].

L'évolution du trafic de conteneurs en Algérie, passant de 225 140 EVP en 2008 à environ 1 398 615 EVP en 2012, souligne l'influence majeure de DP WORLD dans le marché portuaire algérien. En tant qu'acteur clé, DP WORLD Djazair a catalysé cette croissance en modernisant les infrastructures portuaires, en investissant dans les technologies et en offrant des services professionnels, contribuant ainsi à faciliter le commerce international et à améliorer l'efficacité des opérations portuaires dans le pays[32].

## 2.3 DP WORLD Djazair

Dans cette section, notre attention sera portée sur l'entreprise locale, DP WORLD Djazair, avec une analyse approfondie de son parcours évolutif, de sa mission, vision et valeurs, de ses objectifs stratégiques, ainsi que de sa structure organisationnelle.

### 2.3.1 Présentation de DP WORLD Djazair

DP WORLD Djazair a été créée en 21 Mars 2009 dans le cadre d'un partenariat 50/50 avec Entreprise Portuaire D'Alger (EPAL) pour la gestion et l'exploitation du terminal à conteneur du port d'Alger.



FIGURE 2.6 – Création de DP WORLD Djazair[25]

DP WORLD Djazair est une filiale de DP WORLD qui joue un rôle essentiel dans le secteur portuaire en Algérie. En tant que principal terminal à conteneurs du pays, il détient une part de marché de 27 %. Ce terminal se distingue par sa surveillance CCTV complète et sa capacité impressionnante de 755 600 EVP, permettant l'amarrage de navires jusqu'à 2 000 EVP.

La stratégie clé de DP WORLD Djazair repose sur l'expansion de sa capacité grâce à des investissements ciblés dans les infrastructures et les technologies de manutention des conteneurs. Ces investissements visent à améliorer l'efficacité opérationnelle pour répondre à la demande croissante du secteur maritime en Algérie. Les activités de DP WORLD Djazair sont axées sur le soutien au commerce et à la croissance économique, en proposant des solutions commerciales novatrices pour sa clientèle africaine. Grâce à des partenariats solides, DP WORLD Djazair contribue à résoudre les défis logistiques et à dynamiser les échanges commerciaux en Algérie et au-delà[32].

Pour expliquer efficacement la productivité de cette entreprise, la figure ci-dessous illustre comment le trafic des conteneurs évolue au sein de DP WORLD Djazair.

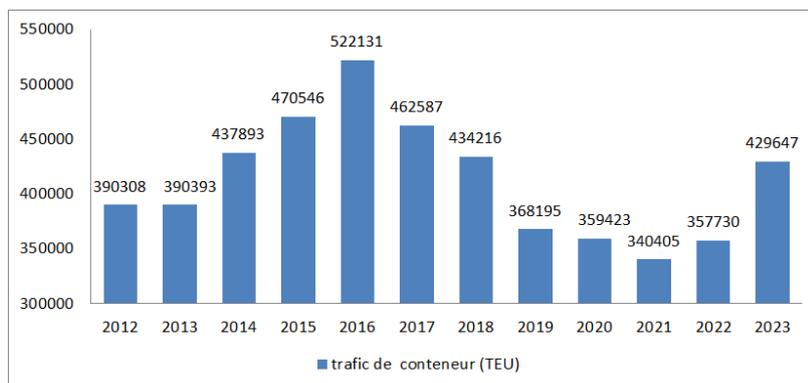


FIGURE 2.7 – Évolution du trafic des conteneurs au sein de DP WORLD Djazair

L'indicateur de performance prédominant pour évaluer la productivité de cette entreprise est le trafic de conteneurs, mesuré en TEUS traitées annuellement. Entre 2014 et 2016, ce chiffre a connu une augmentation significative, culminant en 2016 avec un volume de 522 131 TEUS, le plus élevé enregistré par l'entreprise. Par la suite, ce nombre a diminué au cours des cinq années suivantes, en raison des restrictions gouvernementales sur les importations ainsi que de l'impact de la crise sanitaire de la COVID-19 sur leur productivité. En 2021, le trafic de conteneurs a atteint son point le plus bas, avec 340 405 TEUS. Cependant, grâce aux initiatives de développement mises en place et à une stratégie efficace de gestion du temps, l'entreprise a pu récupérer une partie de sa productivité, comme en témoigne le trafic de conteneurs de 429 647 TEUS en 2023.

### Situation géographique

Le terminal de DP WORLD Djazair en Algérie se trouve au Port d'Alger, plus précisément au Container Terminal, Gate No. 6, Alger, Algérie. Cette localisation stratégique permet à DP WORLD Djazair d'opérer efficacement dans ce port important pour le commerce maritime en Algérie.



FIGURE 2.8 – Situation géographique de DP WORLD Djazair[7]

### 2.3.2 Mission, Vision et Valeurs de DP WORLD Djazair

DP WORLD Djazair occupe une position centrale sur le marché logistique maritime en Algérie, se distinguant par une stratégie commerciale claire et définie. Au cœur de cette stratégie se trouve un objectif essentiel, qui est d'assurer une satisfaction client inégalée. Pour atteindre cet objectif ambitieux, DP WORLD Djazair s'appuie sur un ensemble distinctif de valeurs, de vision et de mission. Ces éléments clés orientent non seulement les initiatives de l'entreprise, mais témoignent également de son engagement envers l'excellence opérationnelle, l'innovation et l'intégrité. Voici comment le triangle mission, vision et valeurs de DP WORLD Djazair est défini[47] :

#### 1. Vision

DP WORLD Djazair s'implique activement dans le développement et la gestion d'un terminal de haute qualité, fournissant des services qui répondent aux besoins des clients à des coûts raisonnables. En parallèle, l'entreprise s'efforce de créer un environnement de travail exceptionnel pour ses employés, tout en générant un retour sur investissement attractif pour ses actionnaires. Cette vision met en lumière l'engagement de DP WORLD Djazair envers la durabilité, la qualité et la satisfaction de toutes les parties prenantes.

#### 2. Mission

L'entreprise s'engage dans une approche exhaustive envers le contexte économique local, en plaçant au cœur de sa philosophie les principes d'excellence, d'innovation et de rentabilité. Son objectif premier demeure la fourniture d'un service client de qualité supérieure.

#### 3. Valeurs

- L'entreprise démontre son engagement envers son personnel et ses clients en améliorant constamment ses prestations pour mieux répondre aux besoins et dépasser les attentes des clients.
- DP WORLD vise une croissance globale rentable en investissant dans le développement de son équipe, ce qui se traduit par une amélioration directe de la qualité des services et permet une évolution significative à tous les niveaux de l'entreprise.
- Elle accorde une grande valeur à un comportement responsable, tant de la part de l'entreprise que de ses employés.
- L'excellence et l'innovation sont des principes clés dans la modernisation des opérations et la formation du personnel, ce qui enrichit et diversifie la qualité des services offerts, tout en répondant de manière optimale aux attentes des clients.

### 2.3.3 Fonctions, Objectifs et Services de DP WORLD Djazair

DP WORLD Djazair est le leader incontesté du transport maritime en Algérie, se démarquant par ses fonctions stratégiques, ses objectifs ambitieux et ses services.

### 1. Fonctions de DP WORLD Djazair

- La coordination des escales des navires et du traitement des conteneurs.
- La gestion de la réception et de la livraison des conteneurs aux clients.
- La manipulation des connexions et déconnexions des conteneurs réfrigérés.
- L'installation et supervision des dispositifs de sécurité et de sûreté périphériques.
- La réparation des conteneurs abîmés et endommagés.
- L'observance des normes et des réglementations pour la conservation des produits alimentaires.

### 2. Objectifs de DP WORLD Djazair

DP WORLD Djazair, bénéficiant d'une concession portuaire de 30 ans, s'engage résolument dans une démarche de modernisation de l'infrastructure et d'intégration de nouveaux équipements au port d'Alger. Cette initiative stratégique vise à répondre aux défis croissants du secteur maritime et à optimiser les activités portuaires pour une efficacité opérationnelle renforcée. Au cœur de sa vision, l'entreprise aspire à devenir un leader incontesté en termes de coût, de qualité et de délais dans son domaine d'activité. Pour atteindre cet objectif ambitieux, il est crucial de définir clairement les objectifs de DP WORLD Djazair à la fois à court terme et à long terme, établissant ainsi une feuille de route stratégique pour l'entreprise dans sa quête de leadership sur le marché portuaire algérien[32].

#### Objectifs à court et moyen terme

- Augmenter la capacité de sous-traitance du port d'Alger de 400 000 à 700 000 conteneurs pour devenir un leader des opérations portuaires.
- Introduire un système de technologie de l'information avancé et renouveler les pratiques de travail pour offrir des services de qualité supérieure.
- Réduire la période d'attente des navires, minimiser les coûts liés aux retards et assurer un fonctionnement ininterrompu du terminal pour atteindre l'excellence opérationnelle.
- Établir des partenariats durables avec les clients, fournisseurs et autres acteurs de l'industrie pour garantir une collaboration mutuelle et une confiance à long terme.
- Proposer des solutions adaptées au marché algérien en comblant l'écart entre l'expertise mondiale de l'entreprise et le savoir-faire local.
- Renforcer les compétences des employés par le biais de formations et de perfectionnements pour maintenir leur expertise opérationnelle à jour.

#### Objectifs à long terme

- Contribuer à la croissance économique du pays en développant le port d'Alger pour le positionner avantageusement sur la scène mondiale.
- Encourager l'innovation et développer des solutions commerciales efficaces pour rester compétitif sur le marché mondial.

- Assurer un fonctionnement ininterrompu du terminal pour garantir une productivité maximale et une satisfaction client durable.
- Maintenir des partenariats durables basés sur la confiance et la collaboration mutuelle pour assurer une croissance stable et continue.
- Cultiver une expertise globale tout en tenant compte des spécificités du marché local pour répondre aux besoins uniques de l'Algérie et de ses clients.
- Investir dans le renforcement des compétences des employés pour assurer une main-d'œuvre qualifiée et engagée dans la réalisation des objectifs stratégiques de l'entreprise.

Ces objectifs illustrent l'engagement à long terme de DP WORLD Djazair à devenir un acteur majeur dans le secteur des opérations portuaires en Algérie tout en contribuant au développement économique durable du pays.

### 3. Services de DP WORLD Djazair

En complément des opérations quotidiennes de chargement et de déchargement de conteneurs des navires, DP WORLD Djazair offre à ses clients l'accès à un parc de visite dédié exclusivement aux activités d'inspection requises par les autorités douanières compétentes. Dans cette zone, les opérations de manutention sont prises en charge par des professionnels qualifiés.

Par ailleurs, Djazair Port WORLD assure un service d'enlèvement de conteneurs continu, disponible 24h/7j à tous ses clients, pour l'ensemble de ses clients. Depuis 2012, cette activité a connu une amélioration significative avec la mise en place d'opérations de transfert de conteneurs vers un port sec par voie ferrée[32].

Les services de documentation et de facturation du terminal à conteneurs sont également accessibles aux clients tout au long des opérations réalisées par les équipes opérationnelles. La direction commerciale et le département du service client assurent la liaison entre tous les clients du terminal à conteneurs et les équipes opérationnelles en service, en traitant efficacement leurs demandes d'informations et leurs réclamations.

#### 2.3.4 Structure organisationnelle de DPW Djazair

DP WORLD Djazair est structurée sous la supervision d'un directeur général en quatre directions principales, chacune composée de plusieurs services distincts. Ces directions englobent [32] :

- La direction commerciale.
- La direction financière.
- La direction des opérations.
- La direction des ressources humaines.

Ces directions sont présentées de façon succincte, ci-après :

### 1. Direction générale

Sous l'autorité du directeur général, cette direction est responsable de la supervision globale de l'entreprise. Le directeur général est chargé d'approuver et de signer les rapports et documents essentiels, ainsi que de définir les orientations et stratégies de gestion. De plus, il est chargé de produire des rapports réguliers sur toutes les activités commerciales, financières, scientifiques et juridiques, ainsi que sur la gestion du personnel. Ces rapports sont ensuite transmis à la société mère, basée à Dubaï, afin d'assurer une communication efficace sur les développements de la succursale à Alger[32].

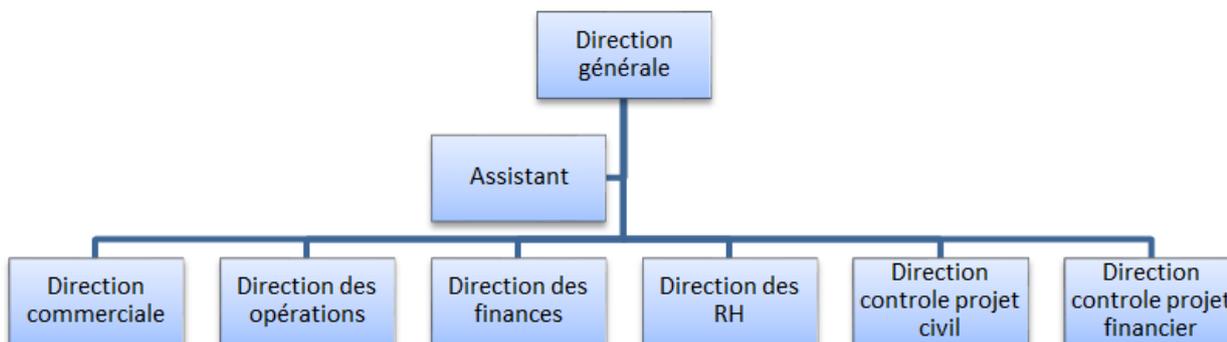


FIGURE 2.9 – Structure de la direction générale[32]

### 2. Direction commerciale

La direction commerciale joue un rôle central dans la gestion des transactions entre l'entreprise et les acteurs commerciaux, ainsi que dans la coordination des différentes étapes de la chaîne de transport, y compris les consignataires et les transitaires. Elle supervise la documentation, la facturation et la gestion des services clientèles, en plus de produire des rapports réguliers sur les opérations de traitement des navires. En raison de ses interactions directes avec les acteurs commerciaux et les partenaires stratégiques, cette direction revêt une importance capitale dans l'entreprise. Elle se compose de trois services distincts : le service clientèle, le service facturation et le service documentation.

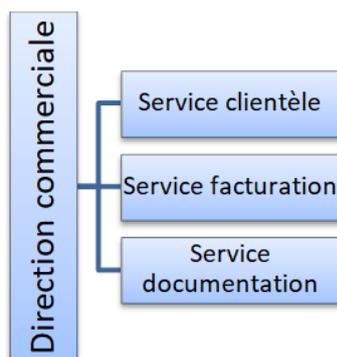


FIGURE 2.10 – Structure de la direction commerciale[32]

### 3. Direction des affaires financières

La direction financière est responsable de l'élaboration des politiques de gestion financière et des procédures comptables de l'entreprise, dont le principal objectif est d'assurer l'équilibre financier tout en surveillant attentivement les flux de trésorerie. Elle est composée de quatre services distincts :

**Le service de comptabilité** : Comprend des agents chargés de réaliser les tâches comptables concernant les factures, la préparation des chèques, les dépenses et les revenus de l'entreprise. Ils reçoivent également les rapports mensuels concernant ces dépenses et les revenus globaux.

**Le service des achats** : Ce service s'occupe de la création de modèles de commande pour les achats de l'entreprise, ainsi que de répondre aux besoins des employés en matière de fournitures de bureau et d'acquisition de différents équipements de travail.

**Le service des affaires juridiques** : Ce service gère tout ce qui concerne la législation de l'entreprise, les conflits légaux entre les employés au sein de l'entreprise ou avec l'environnement extérieur, ainsi que les actions juridiques contre la société. En tant que représentant de la société auprès des tribunaux, ce service établit également des accords avec les autres sociétés dans le cadre légal.

**Le service de l'informatique** : Ce service fournit les équipements informatiques et gère les programmes utilisés par l'entreprise. Ce service englobe : La gestion des comptes et des systèmes informatiques requis pour assurer la réalisation optimale des tâches assignées aux employés, ainsi que la maintenance des équipements informatiques et la gestion des programmes utilisés par l'entreprise. Ce service comprend :

- Chargé de l'informatique
- Chargé des achats
- Contrôleur financier
- Chargé du bureau des affaires juridiques.

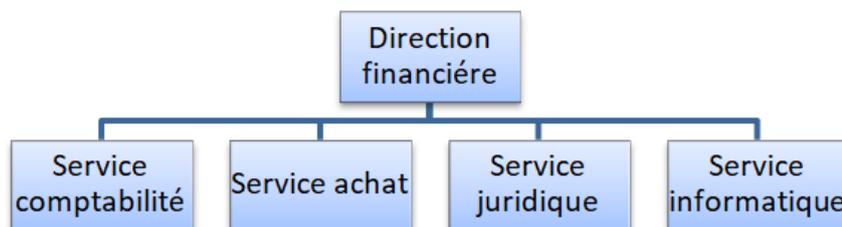


FIGURE 2.11 – Structure de la direction des affaires financières[32]

### 4. Direction des ressources humaines

La direction des ressources humaines joue un rôle essentiel dans la société en gérant les affaires des employés et tout ce qui concerne le recrutement, la formation, la détermination des

salaires et la résolution des conflits entre les employés, entre autres. L'équipe des ressources humaines comprend divers bureaux, tels que :

- Le bureau de la formation
- Le bureau des affaires sociales
- Le bureau d'établissement des salaires
- Le bureau du chargé des ressources humaines
- Le bureau administratif
- Les conducteurs administratifs

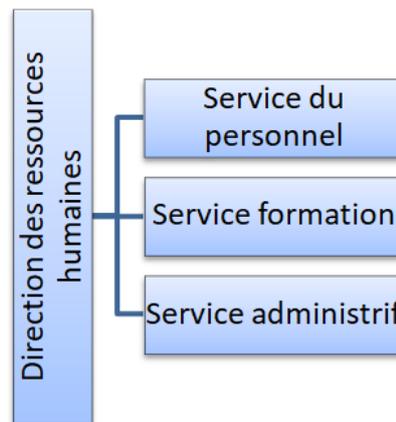


FIGURE 2.12 – Structure de la direction des ressources humaines[32]

### 5. Direction des opérations

Enseignée également la direction exécutive, elle supervise toutes les opérations sur le terrain, telles que le traitement du navire, la gestion et l'entreposage des conteneurs, la sécurité et les projets de rénovation.

Le directeur exécutif (CEO) est responsable de cette direction et assure la gestion des divers services dont il est responsable. Il est donc le principal responsable de toutes les actions entreprises en matière de base et sur le terrain, telles que la gestion des conteneurs, la sécurité et les chantiers. Les départements qui la composent sont :

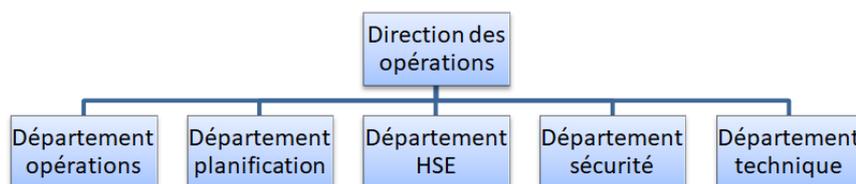


FIGURE 2.13 – Structure de la direction des opérations.

**Le département des opérations :** Ce département assume la responsabilité de superviser toutes les opérations associées aux navires, du moment de leur accostage au quai jusqu'à leur départ en rade, englobant le chargement et le déchargement des conteneurs, leur stockage et leur transfert. Plusieurs individus sont responsables de ces opérations :

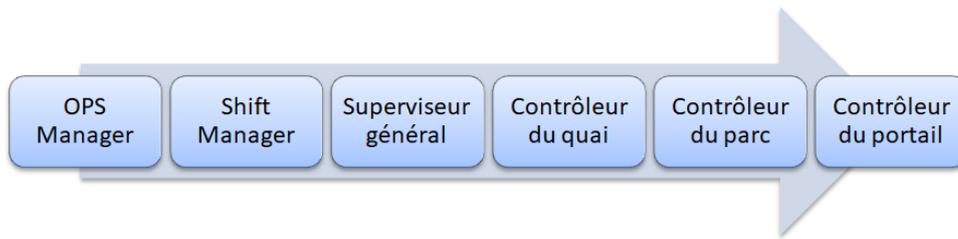


FIGURE 2.14 – Intervenants du département des opérations

**Le département planification :** Ce département est chargé d'élaborer la stratégie de travail, d'affecter les équipes et les équipements requis pour le traitement des navires et la gestion des conteneurs, incluant les grues mobiles, les RTG et les ITV.

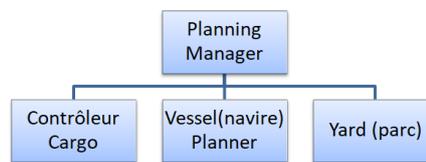


FIGURE 2.15 – Intervenants du département planification.

**Le département hygiène sécurité et environnement :** Ce service établit les conditions de travail conformes aux normes internationales pour garantir la sécurité des employés, en organisant des formations, des campagnes de sensibilisation et de prévention. Il surveille la qualité des équipements utilisés, vérifie la conformité des tenues des employés (casques, gilets, chaussures, combinaisons, etc.) et assure la propreté du terminal. Sa principale responsabilité est de préserver la sécurité des travailleurs et de l'environnement.

**Le département sécurité :** Ce département est chargé de mettre en œuvre le système de sécurité pour protéger le terminal et les biens de l'entreprise.

**Le département technique :** Ce service assure la maintenance et la restauration de l'ensemble du matériel utilisé dans le port. Il est à signaler que ce service comprend un magasin dans lequel sont stockées toutes les pièces de rechange (les batteries, les huiles, les pneumatiques, les joints, etc.). Dont trois types de de maintenance sont faites au sein de ce dernier :

1. Maintenance curative : elle concerne les engins qui rentrent dans l'atelier pour les rechanges de pièces, celle-ci est planifiée par le département planification.
2. Maintenance d'urgence.
3. Maintenance préventive : elle dépend des heures de travail des engins.
4. Nous avons entrepris notre stage au sein du département de la planification de la direction des opérations, où nous avons estimé pertinent et opportun de mener notre étude.

## 2.4 Diagnostic de l'entreprise et l'énoncé de la problématique

Dans cette section, nous explorerons la dimension opérationnelle du terrain de DP World Djazair. Notre analyse débutera par l'identification des différentes zones impliquées dans le cheminement des conteneurs sur le site, suivie d'une évaluation des équipements de manutention du terminal. Ensuite, nous plongerons dans l'étude des divers processus de la supply chain de l'entreprise, depuis l'arrivée des navires jusqu'à la sortie des conteneurs, dans le but d'identifier les causes profondes des problèmes rencontrés. En conclusion de ce diagnostic approfondi, nous mettrons en lumière notre problématique finale.

### 2.4.1 Analyse Structurale et d'Équipement du terminal DP World Djazair

L'efficacité du terminal à conteneurs repose essentiellement sur deux aspects clés : sa structure physique et les équipements qui y sont déployés.

#### Structure du terminal DP WORLD Djazair

Les processus opérationnels de la chaîne d'approvisionnement au sein du terminal DP WORLD Djazair sont structurés en cinq phases principales. Ces phases comprennent l'arrivée du navire aux quais, le passage au scanner, le stockage dans la zone RTG, la visite dans le parc de visite, et enfin le stockage dans la zone RS jusqu'à l'arrivée du camion. Cette organisation est représentée dans la figure ci-dessous, présentant la configuration détaillée du terminal DP WORLD Djazair :

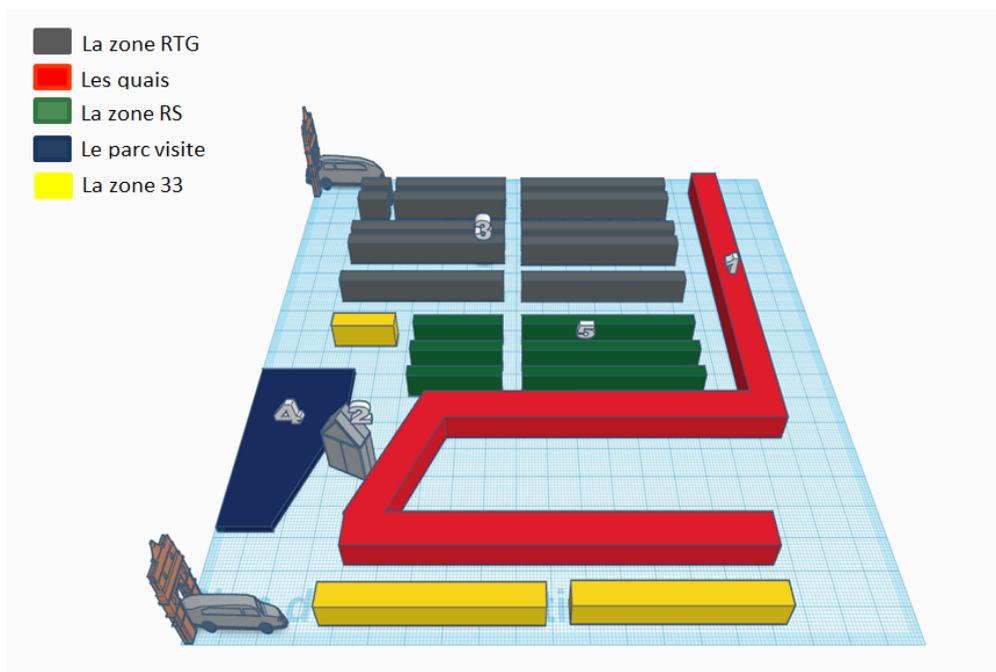


FIGURE 2.16 – Plan du terminal DP WORLD Djazair

Selon le schéma fourni, trois zones principales ont été identifiées dans la configuration du terminal, à savoir[32] :

**La zone opérationnelle :** désignée comme le quai, elle représente l'interface maritime du port où les navires sont accueillis. Le terminal à conteneurs de l'entreprise est équipé de quatre quais numérotés : 30, 31 et 33. Le quai 32, en revanche, est hors service en raison de son faible tirant d'eau et de sa longueur insuffisante pour permettre l'accostage des navires, il est donc considéré comme un chemin. Chaque quai est doté de deux postes, ce qui permet à l'entreprise d'accueillir deux navires simultanément sur chacun d'eux, sauf dans le cas des navires exceptionnellement longs.

Le tableau ci-dessous présente de manière synthétique la capacité du terminal à conteneurs de l'entreprise, en mettant en avant les différents postes à quai ainsi que leurs caractéristiques techniques respectives.

TABLE 2.2 – Caractéristiques techniques des postes du terminal à conteneur de DP WORLD Djazair

| Quai | Longueur (m) | Poste à quai | Tirant d'eau (m) |     |
|------|--------------|--------------|------------------|-----|
| 30   | 320          | Poste N°301  | 9                | 9   |
|      |              | Poste N°302  |                  |     |
| 31   | 456          | Poste N°311  | 9.3              | 9.2 |
|      |              | Poste N°312  |                  |     |
|      |              | Poste N°313  |                  |     |
| 32   | 170          | Non exploité | 8.5              |     |
| 33   | 425          | Poste N°331  | 10               |     |
|      |              | Poste N°332  |                  |     |
|      |              | Poste N°333  |                  |     |

**La zone RTG :** nommée d'après la grue RTG qui y est installée, dispose de la plus grande capacité de stockage. Cette zone se compose de deux blocs symétriques, chacun comprenant cinq couloirs (A, B, C, D, E). Entre chaque couloir, il y a une distance d'un mètre, et une grue RTG est présente à chaque couloir. Chaque couloir abrite un ensemble de slots (ou piles) de 20 ou 40 pieds. Chaque slot est organisé en 7 lignes et 5 étages, ce qui permet de stocker soit 33 conteneurs de 40 pieds, soit 66 conteneurs de 20 pieds. Les extrémités de chaque couloir sont occupées par des slots destinés aux conteneurs de 40 pieds. Dans chaque slot, on cherche à limiter le nombre d'emplacements occupés à moins de 33 pour faciliter le déplacement des conteneurs.

**La zone RS :** désignée ainsi en raison de l'utilisation du système RS dans cette zone, présente des similitudes avec la zone RTG mais avec une capacité de stockage moindre. Elle

se compose également de deux blocs distincts (1, 2), chacun comprenant trois couloirs (F, G, H). Une distance de 17 mètres entre les couloirs permet le déplacement du RS. Chaque couloir est équipé d'un ensemble de slots adaptés pour des conteneurs de 20 ou 40 pieds.

Remarque : Les positions des conteneurs dans les zones RTG et RS sont définies comme suit : (Bloc Couloir, Profondeur "slot", Ligne, Étage) : (1A, 55, D, 4).

**La zone 33 (export vides et pleins) :** destinée aux conteneurs vides et pleins à embarquer, est caractérisée par les couloirs 3B et 3A. Les conteneurs vides sont manipulés à l'aide de l'ECH, tandis que les conteneurs pleins sont traités par le RS. Cette division permet une gestion efficace des conteneurs en fonction de leur statut, facilitant ainsi les opérations de chargement et de déchargement dans le terminal DP WORLD Djazair.

**Le parc visite (la zone Customs Inspection) :** Il s'agit d'une zone conçue pour les inspections douanières, présentant une configuration inclinée en raison du quai 32. Une ligne est tracée au sol pour permettre au RS de déposer les conteneurs dans des positions identiques. Cette zone se divise en deux parties : l'une dédiée aux conteneurs à inspecter le jour même, étant donné que les contrôles douaniers ont lieu exclusivement le matin, et l'autre réservée aux conteneurs prévus pour inspection le lendemain, avec un seul niveau de stockage.

Dans notre démarche diagnostique, nous avons accordé une attention particulière à l'analyse de la capacité de stockage des conteneurs dans les différentes zones du terminal. Le tableau ci-dessous illustre cette capacité de stockage pour chaque couloir de chaque zone.

TABLE 2.3 – Capacité de stockage des conteneurs en EVP

| La zone         | Le couloir | La capacité de stockage des conteneurs en EVP |
|-----------------|------------|---|
| RTG             | 1A         | 868   |
|                 | 2A         | 1116  |
|                 | 1B         | 868   |
|                 | 2B         | 1116  |
|                 | 1C         | 1089  |
|                 | 2C         | 1116  |
|                 | 1D         | 806   |
|                 | 2D         | 1116  |
|                 | 1E         | 1089  |
|                 | 2E         | 1116  |
| Total RTG       |            | 10300   |
| RS              | 1F         | 238   |
|                 | 2F         | 504   |
|                 | 1G         | 238   |
|                 | 2G         | 504   |
|                 | 1H         | 238   |
|                 | 2H         | 504   |
| Total RS        |            | 2226  |
| La zone 33      |            | 480   |
| Le parc visite  |            | 400   |
| Total des zones |            | 13406   |

### Équipements du terminal DP WORLD Djazair

Le terminal de DPW Djazair est pourvu d'équipements spécialement conçus pour ses opérations de manutention et de déplacement interne. Le tableau ci-dessous présente la diversité des équipements utilisés dans le terminal à conteneurs de l'entreprise :

TABLE 2.4 – Équipements du terminal de DP world Djazair

| Équipement  | Nombre |
|-------------|--------|
| Grue mobile | 6      |
| RTG         | 5      |
| ECH         | 6      |
| RS          | 10     |
| ITV         | 27     |

### 2.4.2 Supply Chain de DP WORLD Djazair

L'objectif principal de l'entreprise DP World Djazair est de minimiser les pertes de temps. Pour ce faire, elle a mis en place une stratégie de travail qui combine les processus de documentation et opérationnels afin d'optimiser le temps, accélérer les différents processus et surtout garantir la satisfaction des clients.

#### Processus d'importation de DP WORLD Djazair

Dans le cadre de notre étude, il est nécessaire d'analyser la supply chain globale de cette entreprise. Ainsi, nous avons décomposé cette chaîne en 8 phases principales qui sont les suivantes :

##### Phase 01 :L'accueil des navires

Lors de l'arrivée du navire à la rade, une série de procédures est enclenchée. Tout d'abord, les renseignements obligatoires, tels que le tirant d'eau, la longueur, le pavillon, la provenance, le nom et l'ETA (Estimated Time of Arrival) du navire, sont déclarés à la capitainerie par radio. Ensuite, le consignataire transmet le manifeste du navire aux autorités douanières pour l'intégrer dans le système douanier. Une fois que la douane a attribué un numéro de gros au navire, cela signifie son autorisation d'accoster.

L'affectation du navire à l'un des terminaux se déroule lors d'une réunion appelée la Commission de Placement des Navires, qui se tient quotidiennement à la capitainerie de l'EPAL. Lors de cette réunion, chaque représentant de terminal présente les prévisions de départ des navires amarrés aux quais, accompagnées des caractéristiques de chaque navire. Les navires sont alors affectés en fonction de ces données, en suivant le principe du premier arrivé, premier servi. Après la réunion, le représentant de DP World Djazair transmet les navires désignés au service de planification pour les affecter aux emplacements des navires en partance du port. Ensuite, la compagnie maritime de ces navires envoie au département de planification de l'EDI le manifeste contenant toutes les informations sur les différents conteneurs à bord, afin que le département de planification puisse saisir ces informations dans l'ERP de l'entreprise, qui est le Zodiac.

### **Phase 02 : Arrivé du navire**

Lorsque le navire accoste à l'un des postes du quai, le département de planification présente une lettre de bienvenue et un ensemble de mesures de sécurité au consignataire du navire. Ensuite, une séance d'information est organisée pour que le consignataire approuve les procédures. Une fois ces séquences approuvées, la phase suivante consiste à entamer le débarquement. En parallèle, la compagnie maritime informe le client de l'arrivée du navire pour que ce dernier puisse effectuer la déclaration de ses conteneurs auprès de la douane sur le site ACPS. Ensuite, le transitaire, représentant principal du client tout au long de la démarche avec DP World Djazair, se rend à la compagnie pour régler les frais de livraison. Une fois le paiement effectué, la compagnie émet un Bon à Délivrer pour confirmer cette transaction.

### **Phase 03 : Le débarquement des conteneurs**

Une fois que le navire est prêt, le processus de débarquement des conteneurs est lancé en utilisant la grue désignée au poste d'amarrage du navire pour déplacer les conteneurs vers l'ITV. Au cours de cette phase, un enregistrement de la réception des conteneurs dans la cour de DP WORLD Djazair est effectué à l'aide du pointeur HH1, qui enregistre le numéro de chaque conteneur dans le système informatique Zodiac. Il convient de noter qu'il existe deux scénarios possibles à ce stade : si un conteneur est endommagé, il est immédiatement transféré vers le camion du client et scanné avant de sortir directement car il n'existe pas de zones de stockage spécifiques pour les conteneurs endommagés. Dans d'autres cas, deux scénarios se présentent : les conteneurs sont acheminés par ITV vers le scanner s'ils ne sont pas en circuit vert, sinon s'ils sont en circuit vert, ils ne sont pas scannés et sont simplement déplacés par ITV vers l'étape suivante.

### **Phase 04 : Le stockage dans la zone RTG**

Après le processus de scan, l'ITV transfère les conteneurs vers le RTG assigné par le service de planification. Ensuite, le RTG charge les conteneurs dans leurs emplacements dédiés. Une fois le conteneur déposé, sa position est automatiquement enregistrée dans le système Zodiac.

### **Phase 05 : La visite douanière**

Dans le cas où le client ne serait pas un opérateur, il est nécessaire de procéder à une inspection douanière de ses conteneurs. Dans cette éventualité, le client initie la réservation d'une programmation pour une inspection douanière via l'application APCS.

Chaque jour, le service commercial transmet au service de planification la liste des conteneurs prévus pour l'inspection du lendemain. Le service de planification informe ensuite le RTG correspondant pour le déchargement et le placement de ces conteneurs dans l'ITV, en vue de leur transfert ultérieur au parc de visite. Une fois l'ITV arrivé au parc, les RS déchargent ces conteneurs et les placent sur le terrain du parc de visite. Lors de l'inspection, les conteneurs sont ouverts et les marchandises sont sorties avec l'aide de manutentionnaires, si possible, pour être vérifiées par les douanes afin de garantir leur conformité à la déclaration et au

respect des réglementations en vigueur. Après cette vérification et une validation douanière confirmant la conformité du conteneur et son autorisation d'expédition, le transitaire règle les frais liés à cette visite. Une fois le paiement effectué, les autorités douanières délivrent au transitaire un Bon à Enlever.

### **Phase 06 : Le stockage dans la zone RS**

À la suite de l'inspection douanière et de la validation de la conformité des conteneurs pour leur sortie, une fois toutes les vérifications terminées, les RS chargent les conteneurs sur l'ITV pour leur transfert vers la zone RS. Par la suite, les RS entreposent les conteneurs selon les emplacements prévus dans le plan de gestion, où ils demeurent en attente jusqu'à leur enlèvement.

### **Phase 07 : La facturation**

Dans la section dédiée à la documentation, plus précisément au sein du service commercial, une fois les formalités douanières terminées, le processus de facturation est déclenché. À ce moment, le transitaire présente le Bon à Délivrer ainsi que le Bon à Enlever au service de facturation.

Cette étape a pour objectif d'évaluer le coût total du transport en fonction des différentes étapes par lesquelles le conteneur est passé, permettant ainsi de calculer les divers frais encourus. Une fois le montant communiqué au transitaire, ce dernier se rend à la caisse pour effectuer le paiement. Ensuite, débute le processus de validation où tous les documents sont vérifiés pour confirmer la conformité des procédures. Une fois cette vérification effectuée, le transitaire est autorisé à retirer légalement son conteneur et à obtenir le bon de sortie correspondant.

### **Phase 08 : La sortie du conteneur**

Une fois tous les processus documentaires régulièrement achevés, la phase finale de la supply chain portuaire est marquée par l'arrivée du camion. À son entrée, appelée GATE IN, le pointeur au port attribue un matricule au chauffeur, placé à l'avant du camion pour permettre au RTG ou au RS d'identifier facilement la position du conteneur et procéder directement au déchargement. Une fois le camion chargé avec son conteneur, il se dirige vers la sortie, appelée GATE OUT, où il présente le bon de sortie pour attester de la conformité de l'ensemble de la procédure.

### **Modélisation BPMN des processus de DP WORLD Djazair**

Afin d'expliquer efficacement la supply chain de cette entreprise et de simplifier la compréhension des différents processus, nous avons élaboré un modèle BPMN. Cette méthode graphique permet de représenter de manière visuelle les processus métier d'une organisation. En utilisant le BPMN, nous sommes en mesure de présenter de façon claire et compréhensible les différentes étapes, les intervenants, les décisions prises et les flux d'informations au sein de chaque processus.

La figure ci-dessous présente notre modélisation BPMN de DP WORLD Djazair :



L'analyse du diagramme BPMN met en évidence trois fonctions clés de la grue de manutention RTG :

- La RTG s'occupe du chargement des conteneurs de débarquement et de leur stockage dans la position prévue.
- Elle assure le déchargement des conteneurs programmés pour être inspectés le jour précédant la visite.
- Elle décharge également les conteneurs du circuit vert et les place sur les camions des clients pour leur sortie.

En outre, en cas de saturation de la zone RS, les conteneurs excédentaires sont stockés dans la zone RTG. Cette circonstance entraîne l'ajout de deux fonctions supplémentaires pour la RTG :

- Charger les conteneurs restants de la RS.
- Décharger les conteneurs dès l'arrivée du camion.

### 2.4.3 Analyse des indicateurs

#### Analyse du taux d'occupation de la zone RS

L'indicateur de performance le plus significatif au sein du terminal DP WORLD est le taux d'occupation en EVP, lequel présente des variations distinctes selon les zones. Dans notre démarche diagnostique, une attention particulière a été portée à l'analyse du taux d'occupation dans les différentes zones du terminal. Le tableau qui suit illustre la capacité de stockage des conteneurs pour chaque couloir de chaque zone :

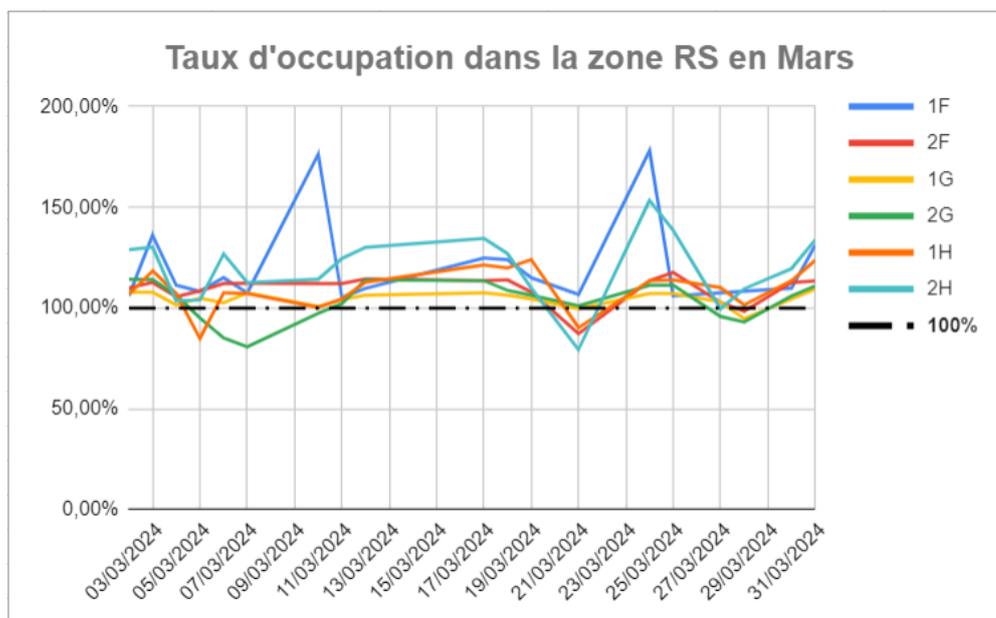


FIGURE 2.18 – Taux d'occupation dans la zone RS en Mars

Nous observons une saturation du taux d'occupation dans la plupart des couloirs de la zone RS, dépassant souvent les 100 % de la capacité prévue. Cette situation souligne la persistance du problème de saturation, induisant une surcharge sur la zone RTG du fait de l'ajout de deux fonctions supplémentaires. Cette surcharge a un impact direct sur la performance de la supply chain du terminal maritime. Par conséquent, nous entreprenons une recherche approfondie pour identifier la cause fondamentale de ce problème.

### Analyse de temps moyen de séjour des conteneurs

La supply chain interne du terminal à conteneurs dans le processus d'importation démarre par l'accueil des conteneurs à bord du navire et se conclut par leur sortie vers les camions des clients. À ce stade, un paramètre pertinent est le temps moyen de séjour des conteneurs, segmenté en deux composantes : le temps moyen de séjour avant la visite et après la visite. Le tableau ci-dessous présente l'évolution de ces paramètres au cours des quatre derniers mois :

TABLE 2.5 – Temps moyen de séjour des conteneurs (Jour)

| Mois    | Temps moyen de séjour des conteneurs (Jour) |              |
|---------|---|--------------|
|         | Avant visite                                | Après visite |
| Janvier | 6,14  | 10           |
| Février | 9,7   | 10,1         |
| Mars    | 7   | 10,51        |
| Avril   | 7,5   | 10,4         |

Nous constatons que le temps moyen de séjour des conteneurs après la visite, c'est-à-dire la finalisation des processus opérationnels dans le terminal DP WORLD Djazair avant la sortie des conteneurs vers les camions, est significativement élevé. Cette situation a un impact considérable sur la performance de la supply chain, ce qui explique la saturation persistante de la zone RS.

#### 2.4.4 Énoncé de la problématique

Suite à notre analyse diagnostique approfondie, nous avons constaté que la saturation de la zone RS entraîne une surcharge de la zone RTG. Cette saturation découle principalement du temps de séjour des conteneurs après leur visite, étroitement lié aux procédures douanières. Bien que nous ne puissions pas influencer directement ce paramètre, nous avons identifié des possibilités d'amélioration des opérations. En proposant des scénarios alternatifs par rapport à la situation actuelle, notre objectif est de réduire cette charge et d'augmenter la productivité du terminal, ce qui se traduira par une amélioration significative de la performance de la supply chain au sein de DP World Djazair.

Dans ce cadre, la problématique suivante se pose :

*Comment améliorer les opérations de DP World Djazair face à la surcharge des RTG pour accroître la productivité et réduire les temps d'attente ?*

Cette problématique peut être subdivisée en deux sous-problématiques distinctes.

- 1. Comment évaluer l'impact de la surcharge des RTG sur la productivité et les temps d'attente des équipements dans la supply chain de DP World Djazair ?**
- 2. Quelle stratégie peut être développée pour réduire la surcharge des RTG et améliorer la performance opérationnelle de DP World Djazair ?**

## Conclusion

À la clôture de ce chapitre, nous avons établi les fondements de l'environnement dans lequel s'inscrit notre étude. Nous avons réalisé une évaluation approfondie du marché local et international dans notre secteur d'étude, puis nous nous sommes penchés sur notre organisme d'étude, DP World Djazair. Par la suite, nous avons cartographié la supply chain de cette entreprise, ce qui nous a permis de formuler notre problématique.

Le chapitre suivant se fixera pour objectif de résoudre cette problématique en utilisant la simulation de la supply chain de DP World Djazair avec AnyLogic.

# Chapitre 3

## Solution proposée

# Introduction

Dans ce chapitre, nous nous engageons dans la simulation de la supply chain du terminal à conteneurs en utilisant le logiciel AnyLogic. L'objectif majeur de cette démarche est d'évaluer de manière approfondie l'état actuel du terminal et d'analyser le scénario que nous proposerons pour améliorer sa performance globale.

Pour mettre en œuvre cette solution, nous suivrons une méthodologie de simulation rigoureuse, préalablement exposée. Cette méthodologie offre un cadre structuré à travers différentes étapes, garantissant ainsi une simulation précise et efficiente. Une synthèse détaillée de cette méthodologie est présentée dans la figure suivante :

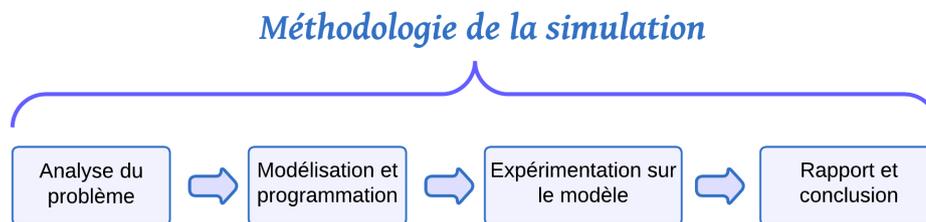


FIGURE 3.1 – Démarche de la simulation

## Justification du choix de la solution :

Le choix d'AnyLogic comme solution de simulation pour le terminal à conteneurs s'est justifié par plusieurs aspects [18] :

- La richesse de la bibliothèque de modélisation intégrée d'AnyLogic a été déterminante. Elle offre une variété d'éléments prêts à l'emploi spécialement conçus pour la modélisation détaillée des opérations de manutention des marchandises, facilitant ainsi la construction de modèles complexes.
- La capacité d'AnyLogic à créer des interfaces de modèle personnalisées a également joué un rôle crucial. Cette fonctionnalité simplifie l'utilisation du modèle pour ceux qui ne sont pas familiers avec le logiciel, rendant ainsi les résultats de la simulation plus accessibles à un large public.
- L'intégration fluide d'AnyLogic avec les plates-formes d'intelligence artificielle et la possibilité de former des algorithmes avec les données de simulation ont été des facteurs décisifs. Cette fonctionnalité nous permet de développer des politiques d'optimisation adaptées et de les intégrer dans le modèle pour une prise de décision autonome ou un déploiement dans le système réel.
- La capacité d'AnyLogic à exécuter plusieurs scénarios simultanément grâce à ses capacités de cloud computing et à la technologie de simulation distribuée a permis d'ac-

célébrer considérablement le processus de simulation. Cela nous a offert la possibilité d'explorer rapidement et efficacement un large éventail de stratégies et de scénarios, garantissant ainsi une analyse approfondie et robuste.

Dans notre étude portant sur la simulation du terminal à conteneurs, nous avons choisi d'utiliser une approche basée sur deux bibliothèques d'AnyLogic :

1. La Bibliothèque de Modélisation de Processus : Cette bibliothèque offre une plateforme robuste pour réaliser des modélisations détaillées dans divers secteurs professionnels, dont la logistique. Elle permet de simuler les flux de travail d'entreprise, offrant ainsi une compréhension approfondie de la dynamique des processus et de leurs interdépendances[19].

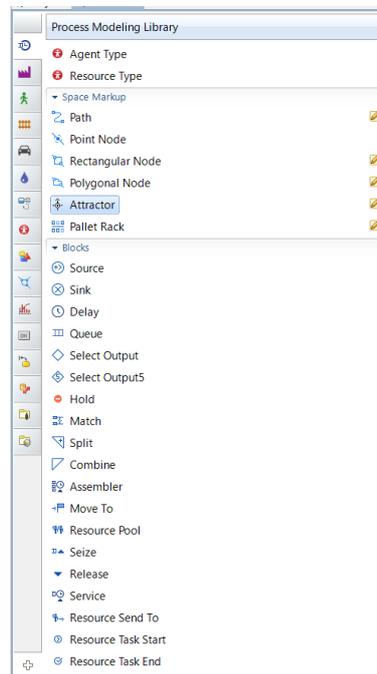


FIGURE 3.2 – Bibliothèque de Modélisation de Processus

2. La Bibliothèque de Manipulation de Matériel : Utilisée conjointement avec la première, cette bibliothèque permet de modéliser et visualiser les opérations de fabrication, les flux de production et les installations de stockage. Elle offre des fonctionnalités avancées pour une simulation détaillée des processus d'atelier et des itinéraires de transport, facilitant ainsi la création de modèles reflétant les spécificités du flux de travail de l'installation[?].

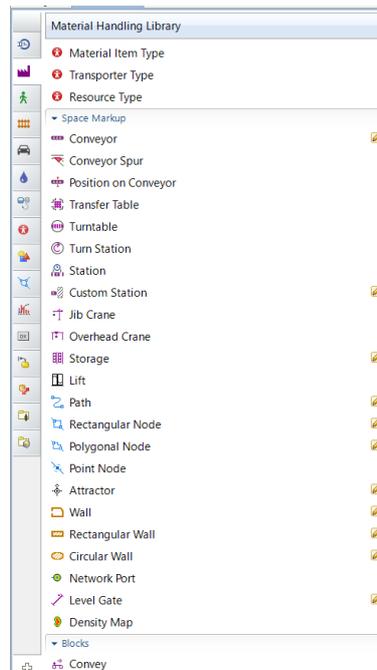


FIGURE 3.3 – Bibliothèque de Manipulation de Matériel

### 3.1 Analyse du problème

La gestion de la supply chain au sein du terminal DP WORLD Djazair se révèle extrêmement complexe, étant donné sa dépendance à l'égard de multiples facteurs, notamment les exigences douanières, ainsi que les divers événements se déroulant simultanément. Une gestion efficace de cette dernière s'avère cruciale, principalement en raison de la contrainte temporelle prédominante.

Notre problématique porte sur l'organisation des tâches des RTG et la nécessité de réduire la charge qui pèse sur ces dernières, tout en accélérant le processus de débarquement. L'inefficacité dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement exerce un impact significatif sur la productivité du terminal à conteneurs ainsi que sur le commerce national de manière générale. Face à cette contrainte temporelle majeure, notre proposition de solution s'appuie sur l'utilisation de simulations. En effet, cette approche permet d'explorer divers scénarios et de sélectionner la meilleure stratégie grâce à un logiciel spécialisé. Une fois validée, cette stratégie peut être mise en œuvre sur le terrain, avec un risque minimal.

Avant de passer à la modélisation dans le logiciel AnyLogic, il est impératif de suivre deux phases préliminaires :

#### 3.1.1 Cartographie des processus

La conceptualisation visuelle de la chaîne logistique portuaire est entreprise dans le dessein d'appréhender de manière exhaustive les différentes séquences opérationnelles au

sein du terminal, ainsi que le cheminement des conteneurs. À cet effet, nous avons conçu un schéma détaillé, présenté dans la figure ci-dessous, offrant une représentation graphique élaborée de la cartographie des processus :



FIGURE 3.4 – Cartographie des processus

La figure suivante illustre clairement la problématique de la surcharge des RTG, causée par une gestion inefficace de la chaîne logistique. Pour offrir une visualisation optimale de ces processus, nous avons élaboré cette cartographie du terminal à conteneurs en utilisant la

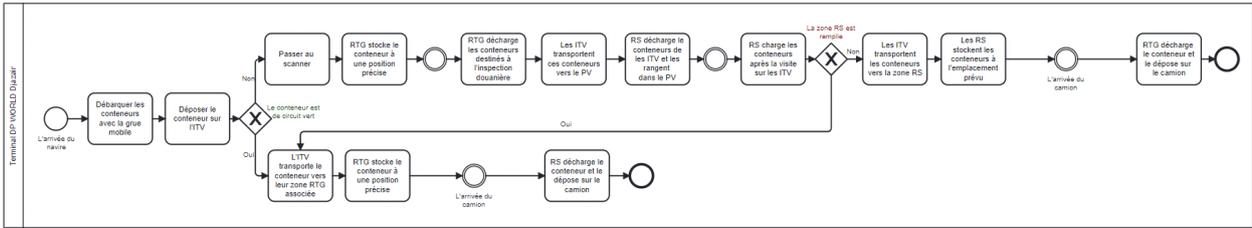


FIGURE 3.5 – BPMN du processus opérationnel du terminal DP World Djazair

notation BPMN . D’après cette cartographie des processus, nous obtenons une base de données qualitative détaillée et une compréhension approfondie du déroulement des opérations de manutention des conteneurs dans le terminal. Cette visualisation permet d’identifier les étapes clés et les interactions entre les différentes parties prenantes, offrant ainsi une vue d’ensemble claire et structurée des flux opérationnels.

### 3.1.2 Collecte de données

Pour affiner notre solution et garantir des résultats représentatifs de la réalité, il est crucial de constituer une base de données exhaustive. Celle-ci doit inclure toutes les données quantitatives pertinentes, telles que les dimensions et les capacités de chaque zone, ainsi que les performances et vitesses opérationnelles des différents équipements.

#### A. Les dimensions :

À l’aide de Google Earth, nous avons pu obtenir les différentes dimensions, notamment celles des quais, des espaces entre les différentes zones et l’emplacement précis de chaque zone. L’annexe 2 présente un plan de masse détaillé du terminal à conteneurs.

#### B. La capacité de chaque zone :

Le terminal DP World Djazair comprend trois zones de stockage principales. Il est nécessaire de collecter les données relatives à leur capacité de stockage pour une analyse approfondie.

TABLE 3.1 – Capacité des blocs de la zone RTG

| Bloc               | Nombre de rangées | Nombre d’allées | Nombre de niveaux |
|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1A, 1B, 1C, 1D, 1E | 28                | 7               | 5                 |
| 2A, 2B, 2C, 2D, 2E | 36                |                 |                   |

TABLE 3.2 – Capacité des blocs de la zone RS

| <b>Bloc</b> | <b>Nombre de rangées</b> | <b>Nombre d'allées</b> | <b>Nombre de niveaux</b> |
|-------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1F, 1G, 1H  | 17                       | 4                      | 4                        |
| 2F, 2G, 2H  | 36                       |                        |                          |

TABLE 3.3 – Capacité du parc visite

| <b>Nombre de niveaux</b> | <b>Nombre de stationnement</b> |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1                        | 350 EVP                        |

**C. La capacité des navires :**

Cette partie sera consacrée à l'analyse de la capacité des navires desservant le terminal DP World Djazair, en mettant en évidence les valeurs minimales et maximales d'EVP qu'ils peuvent transporter.

TABLE 3.4 – Capacité du navire

| <b>Type</b> | <b>Capacité</b> |
|-------------|-----------------|
| Navire      | Min = 500 EVP   |
|             | Max = 1000 EVP  |

**D. La vitesse des équipements :**

Nous examinerons dans cette section les vitesses opérationnelles des différents équipements utilisés dans les opérations portuaires du terminal DP World Djazair, afin de comprendre leur impact sur l'efficacité et la productivité globales.

TABLE 3.5 – Vitesse des équipements

| <b>Équipement</b> | <b>Vitesse</b>              |
|-------------------|-----------------------------|
| Grue mobile       | 1 min pour chaque conteneur |
| ITV               | 15 km/h                     |
| RTG               | 5 km/h                      |
| RS                | 5 km/h                      |
| Camion            | 20 km/h                     |

**E. Affectation des équipements par processus :**

Cette partie sera consacrée à l'affectation des équipements aux différents processus opérationnels du terminal DP World Djazair, en détaillant le nombre et le type d'équipements utilisés dans chaque étape du flux de travail.

TABLE 3.6 – Affectation des équipements

| Processus                           | Type d'équipement | Nombre   |
|-------------------------------------|-------------------|--|
| Débarquement d'un navire            | ITV               | 5  |
|                                     | Grue mobile       | 1  |
|                                     | RTG               | Selon la capacité du navire                      |
| Transport au parc visite            | ITV               | 6  |
|                                     | RTG               | En fonction de la position des conteneurs prévue |
|                                     | RS                | 2  |
| Transport à la zone RS après visite | ITV               | 7  |
|                                     | RS                | 4  |

## 3.2 Modélisation du terminal DP WORLD Djazair

Après avoir recueilli des données quantitatives et qualitatives, nous entamons la phase de modélisation. Cette étape vise à créer un modèle du terminal à conteneurs dans le logiciel AnyLogic, afin de réaliser une simulation de celui-ci. Cette démarche se divise en deux parties distinctes :

- Modélisation du terrain du terminal (comprenant les zones de stockage et les trajectoires des équipements)
- Modélisation des processus à travers la création de diagrammes de flux

### 3.2.1 Modélisation du terrain du terminal

La conception du modèle du terminal DP World Djazair constitue l'élément central de notre projet, car la précision de cette étape influe directement sur les résultats obtenus lors de la simulation. Pour garantir une représentation fidèle, nous avons opté en premier lieu pour une échelle pratique de 1 mètre par pixel pour notre modélisation.

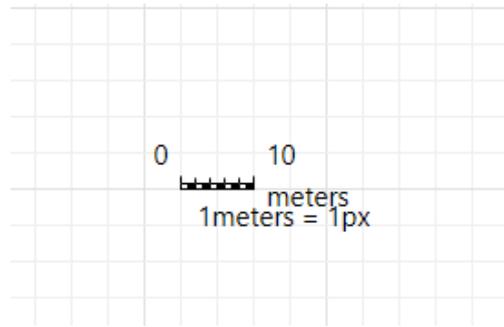


FIGURE 3.6 – Echelle de la modélisation dans AnyLogic

Ensuite, nous avons suivi une série d'étapes spécifiques pour développer cette phase :

### 1. Modélisation des quais

Nous avons modélisé trois quais en utilisant des formes rectangulaires pour représenter leur structure. Cette approche simplifiée permet de visualiser efficacement les emplacements et la capacité des quais.

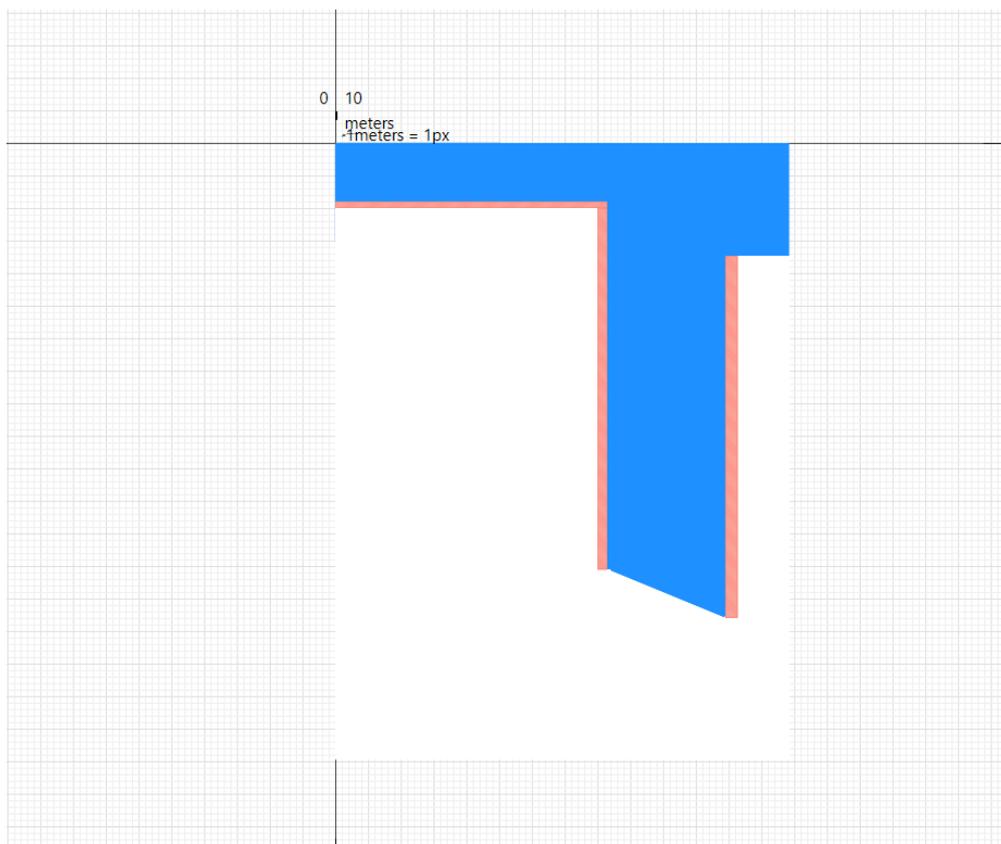


FIGURE 3.7 – Modélisation des quais du terminal DP World Djazair

### 2. Modélisation des zones de stockage

Dans cette étape, nous avons modélisé les trois zones de stockage du terminal à conteneurs. Nous avons utilisé l'outil "Storage" disponible dans la bibliothèque "Material Handling" d'AnyLogic.

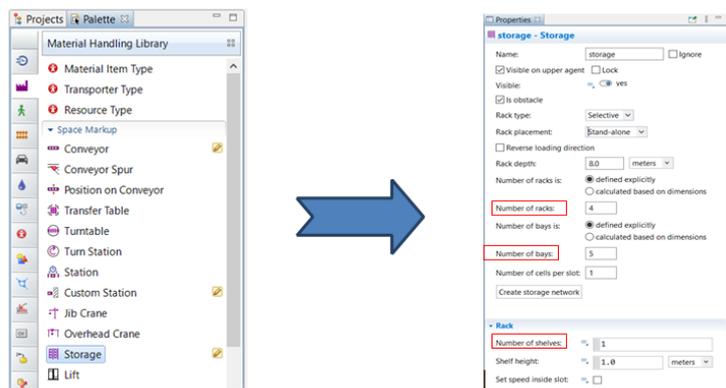


FIGURE 3.8 – Modélisation des blocs de stockage dans AnyLogic

Cet outil nous a permis de modéliser chaque bloc de stockage avec sa capacité réelle, comme illustré dans la figure. En définissant le nombre de rangées, d'allées et de niveaux dans les propriétés de l'outil "Storage", nous avons pu représenter fidèlement la configuration et la capacité de stockage du terminal.

La modélisation des trois zones est illustrée ci-dessous :

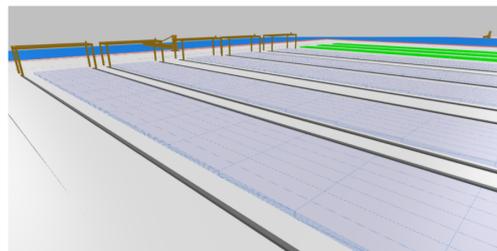


FIGURE 3.9 – Vue caméra en3D de la zone RTG dans AnyLogic

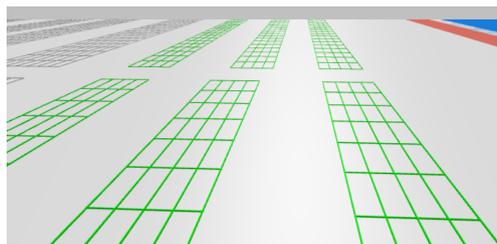


FIGURE 3.10 – Vue caméra en 3D de la zone RS dans AnyLogic

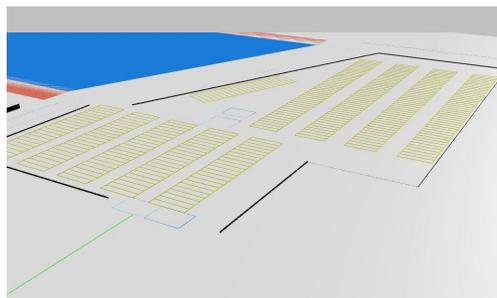


FIGURE 3.11 – Vue caméra en 3D du parc visite dans AnyLogic

Une fois ces composants rigoureusement modélisés, la conception du terrain du terminal a été finalisée, intégrant les quais, la zone RTG, la zone RS et le parc visite. La figure suivante illustre cette modélisation en 2D.

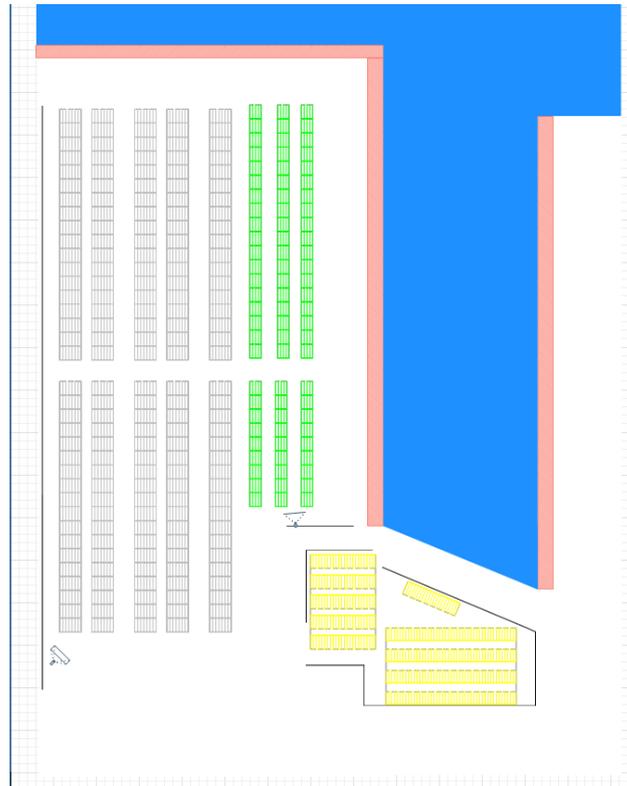


FIGURE 3.12 – Modélisation en 2D du terminal dans AnyLogic

### 3. Modélisation des équipements et des navires

Cette étape a été dédiée à la représentation des équipements de manutention et des navires. Nous avons initié ce processus en modélisant deux navires pertinents pour notre analyse, en utilisant des objets 3D disponibles dans les bibliothèques d'AnyLogic.

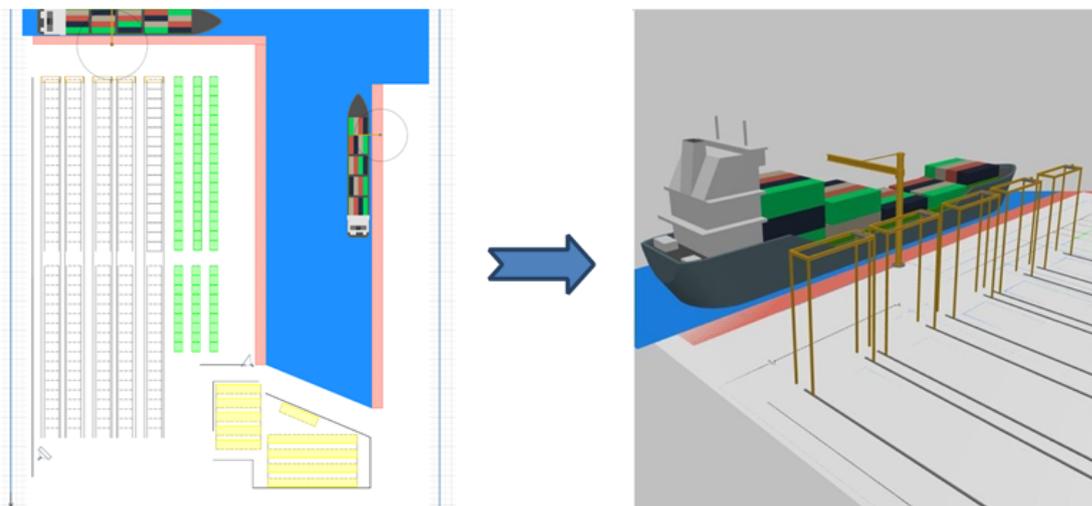


FIGURE 3.13 – Modélisation en 2D et 3D du navire dans AnyLogic

Par la suite, nous avons abordé la modélisation des équipements de manutention en adoptant deux approches distinctes :

### A. Utilisation des bibliothèques AnyLogic :

Nous avons employé les équipements de manutention disponibles dans la bibliothèque "Material Handling" d'AnyLogic. Par exemple, nous avons représenté les grues par des "jib cranes" et les RTG par des "overhead cranes".

### B. Modélisation personnalisée :

Pour les équipements non disponibles dans les outils standards, nous avons créé des types de transport spécifiques et les avons représentés par des objets 3D. Nous avons sélectionné des objets similaires aux équipements utilisés dans le terminal pour garantir une représentation fidèle. Ainsi, nous avons élaboré la modélisation de trois types d'équipements : les camions, les RS, et les ITV.

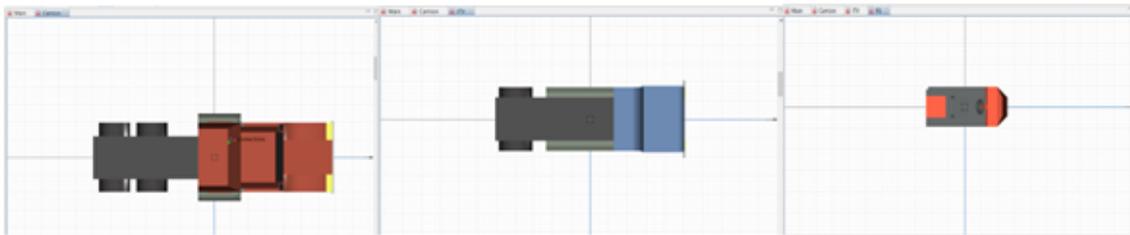


FIGURE 3.14 – Modélisation des trois équipements dans AnyLogic

## 4. Modélisation du produit

Dans la phase suivante, nous avons procédé à la modélisation du produit en circulation, qui dans notre cas est représenté par le conteneur. Pour ce faire, nous avons créé un nouveau type d'agent, en l'occurrence le conteneur, de type standard et de taille 20 pieds, afin de faciliter la visualisation de la circulation et pour simplifier les calculs de stockage. Nous avons également introduit un paramètre supplémentaire, nommé "circuit vert", de type booléen, pouvant prendre les valeurs vrai ou faux.

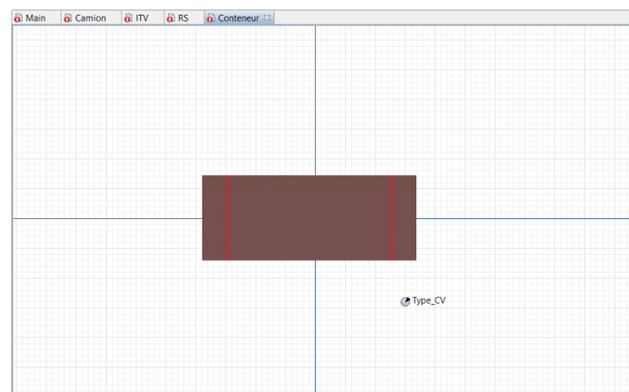


FIGURE 3.15 – Modélisation du conteneur dans Anylogic

### 5. Modélisation des trajectoires des équipements

Après avoir modélisé le terrain et les différents types d'équipements, nous avons entrepris la modélisation des trajectoires des équipements. Pour cette phase, nous avons utilisé deux outils disponibles dans les palettes d'AnyLogic. Le premier outil, "Path", est situé dans la bibliothèque de modélisation des processus, précisément dans la section "Space Markup". Cet outil permet de définir les trajectoires exactes de chaque équipement. Le deuxième outil, "Point Node", est utilisé pour établir les points d'arrêt ou les positions spécifiques que les équipements doivent atteindre. L'utilisation de ces outils garantit une modélisation précise et fonctionnelle des mouvements des équipements au sein du terminal.

La figure suivante montre notre modélisation des trajectoires de chaque équipement du terminal à conteneurs DP World Djazair dans AnyLogic :

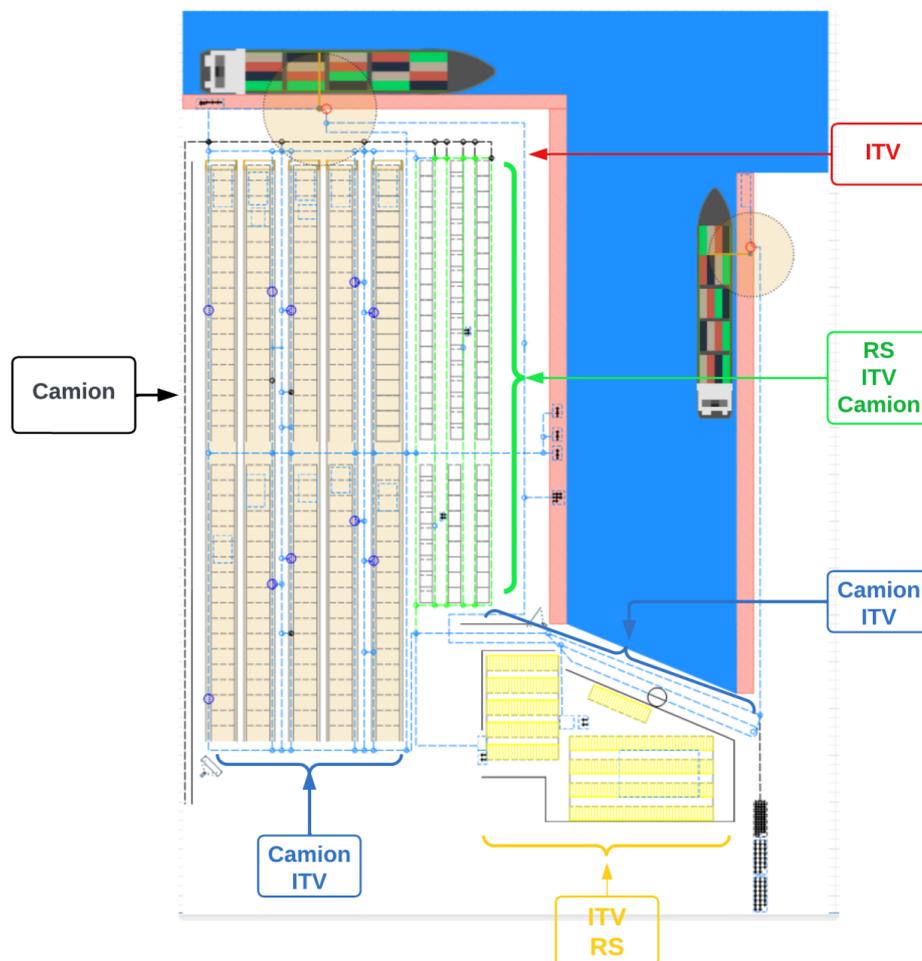


FIGURE 3.16 – Modélisation des Trajectoires des Équipements dans le Terminal à Conteneurs DP World Djazair dans AnyLogic

### 3.2.2 Diagrammes de flux

Après avoir achevé la modélisation du terrain et des trajectoires, nous avons abordé l’aspect fondamental de notre projet : la modélisation des processus. Cette étape nécessite la création des mouvements et des différents processus du terminal DP WORLD Djazair.

Pour cela, nous avons utilisé la cartographie des processus BPMN en nous appuyant sur les données quantitatives que nous avons élaborées dans l’étape précédente. En raison de la complexité de la supply chain du terminal DP WORLD Djazair, marquée par des événements multiples et des contraintes temporelles dues à la limitation de la durée de simulation dans la version personnelle d’AnyLogic (5 heures), nous avons subdivisé la modélisation des processus en trois diagrammes de flux distincts :

#### 1. Débarquement des Navires

Nous avons développé un diagramme de flux décrivant les étapes depuis le stationnement des ITV sur les quais jusqu’au stockage des conteneurs dans les RTG, comme illustré dans la figure suivante :

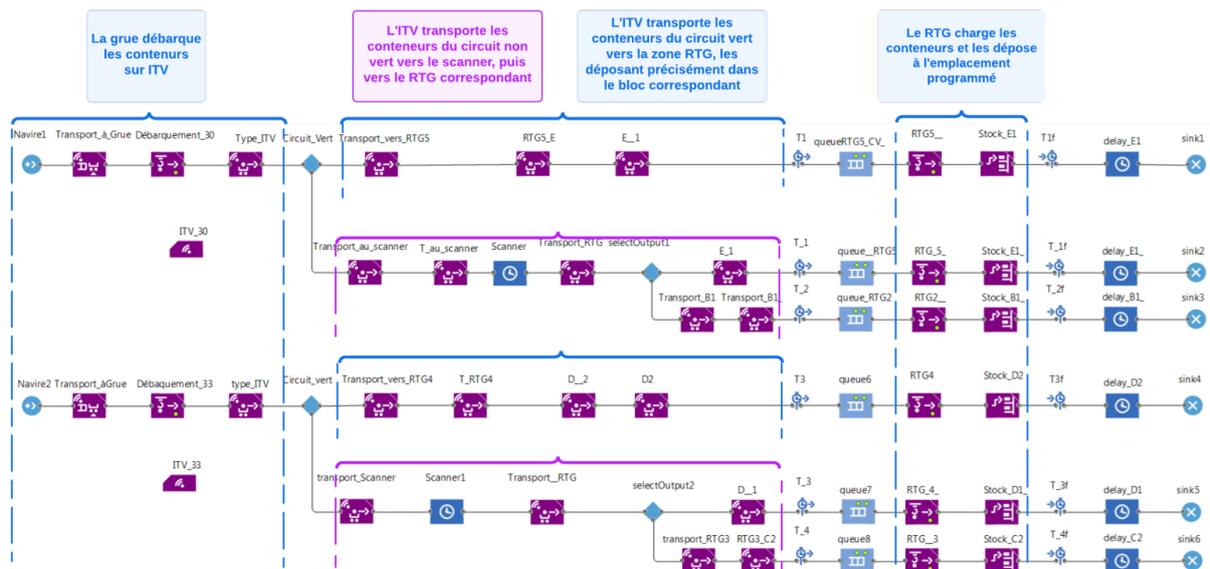


FIGURE 3.17 – Diagramme de flux du processus de débarquement

Notre étude se concentre sur le débarquement de deux navires simultanément. Pour le premier navire, les ITV sont déjà stationnés sur le quai 30, à côté du navire. Les ITV se dirigent vers la grue, qui débarque les conteneurs et les dépose sur les ITV. Deux scénarios sont possibles :

- Les conteneurs du circuit vert : Les ITV transportent directement les conteneurs au RTG 5, spécifiquement au bloc E1. Ensuite, le RTG charge les conteneurs et les dépose dans la position programmée, où ils restent jusqu’à l’arrivée des camions du client.
- Les conteneurs du circuit non vert : Les ITV se dirigent d’abord vers le scanner, puis vers le RTG 5 (bloc E1) ou le RTG 1 (bloc B1), où les conteneurs restent jusqu’à leur

à la visite programmée.

Pour le deuxième navire, la même démarche est suivie, avec quelques différences :

- Les conteneurs du circuit vert : Les ITV transportent les conteneurs au RTG 4, spécifiquement au bloc D2.
- Les conteneurs du circuit non vert : Les conteneurs sont transportés soit au RTG 4 (bloc D1) soit au RTG 3 (bloc C2).

## 2. Transport des conteneurs vers le parc visite pour la visite

Cet événement se focalise sur les conteneurs du circuit non vert qui doivent passer par la visite avant de quitter le terminal. La figure suivante offre une représentation visuelle du déroulement de la modélisation de cet événement dans un processus de flux dans AnyLogic.

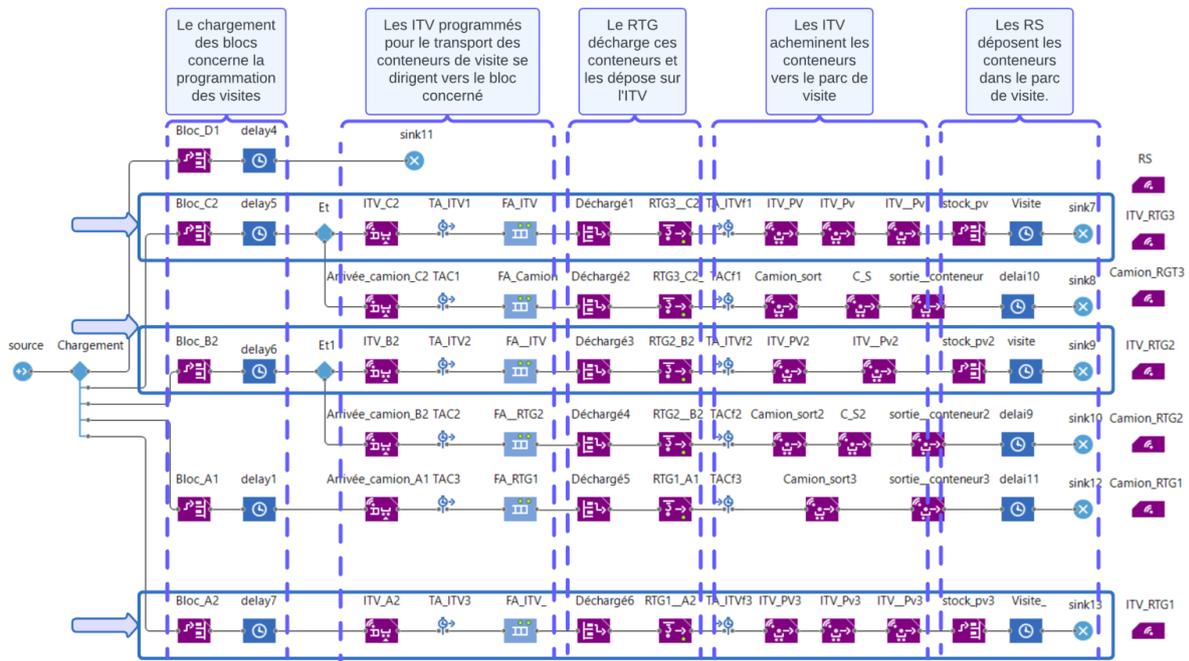


FIGURE 3.18 – Diagramme des flux du processus du transport des conteneurs vers le parc de visite.

Nous avons structuré cet événement en cinq phases distinctes. Nous avons initié le processus par le chargement des blocs associés à la programmation des visites, à savoir les blocs C2, B2 et A2. Étant donné que le terminal démarre vide lors de la simulation et que tous les événements se déroulent simultanément, nous supposons que ces conteneurs ont déjà passé par la phase précédente de débarquement. Après une période de sept jours, cet événement se déclenche.

Une fois le chargement achevé, les ITV programmés pour le transport de ces conteneurs, déjà stationnés au quai 31, se rendent vers les RTG 3, 2 et 1. Ces derniers déchargent les conteneurs et les déposent sur les ITV, qui les convoyant ensuite vers le parc visite. Les RS

présents dans le parc visite prennent ensuite en charge ces conteneurs pour les déposer dans le parc visite.

### 3. Arrivée des camions des clients

Cet évènement commence avec l'arrivée des camions des clients de type opérateur, c'est-à-dire appartenant au circuit vert. La figure suivante illustre la modélisation des opérations dans un diagramme de flux dans AnyLogic, depuis l'entrée des camions dans le terminal jusqu'à leur sortie.

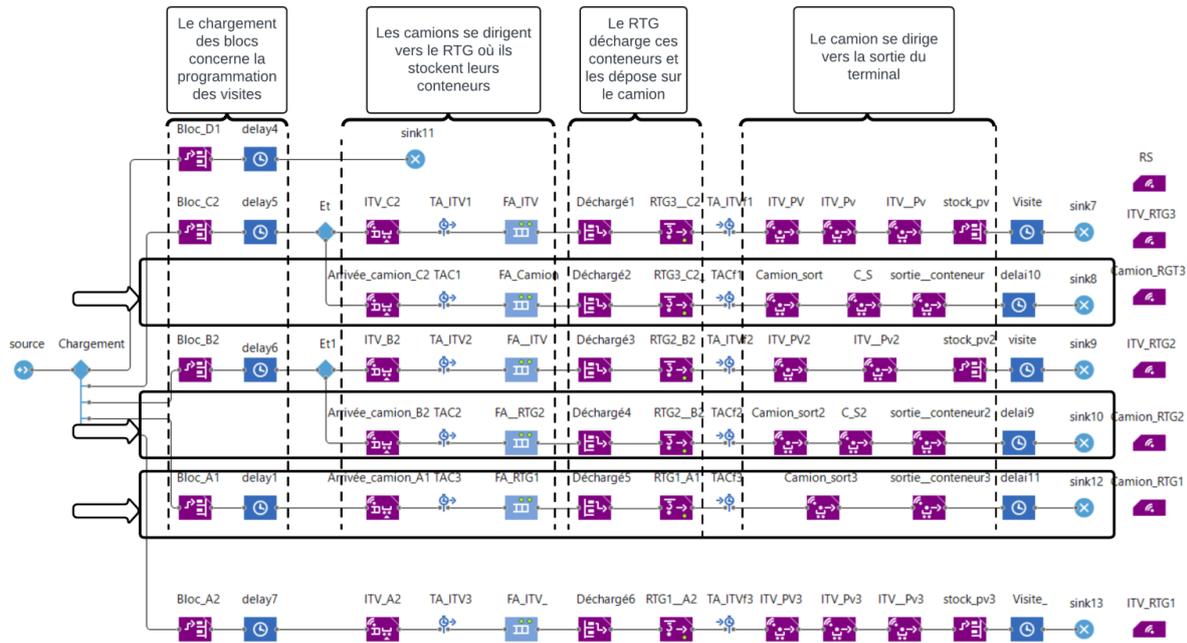


FIGURE 3.19 – Diagramme des flux de l'arrivée du camion

Nous avons élaboré un diagramme de flux qui représente cet évènement en quatre phases principales. Il débute par le chargement des blocs, tel que décrit précédemment. Une fois cette étape accomplie, les camions des clients, identifiés comme opérateurs, entrent par la porte d'entrée et se dirigent vers les blocs C2, B2 et A1. Par la suite, les RTG 3, RTG 2 et RTG 1 déchargent leurs conteneurs respectifs et les transbordent sur les camions. Enfin, les camions se dirigent vers la sortie du terminal.

### 4. Transport des conteneurs vers la zone RS après visite

Cet évènement se concentre sur les conteneurs du circuit non vert qui, après avoir passé l'inspection, sont dirigés vers la zone RS. Pour représenter ce processus dans AnyLogic, nous avons élaboré un diagramme de flux détaillé, illustrant les différentes étapes de cette opération.

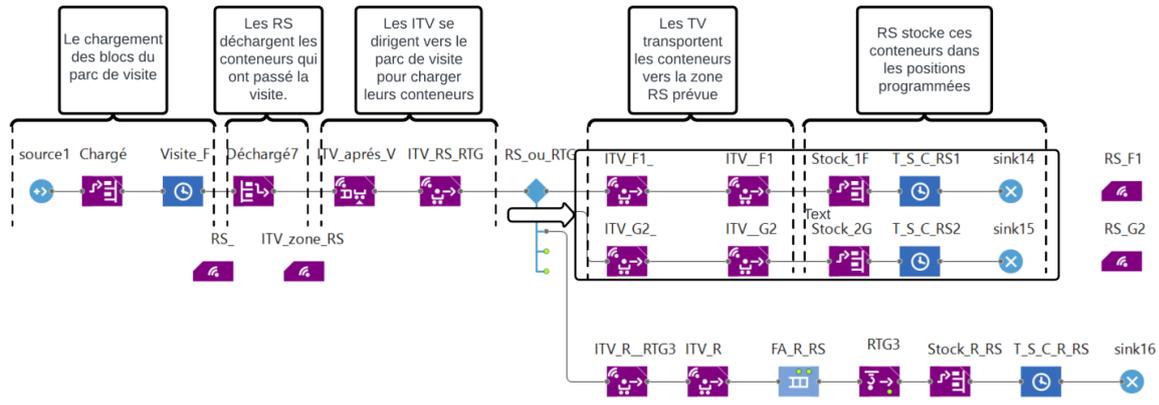


FIGURE 3.20 – Diagramme des flux du processus du transport des conteneurs vers la zone RS

Nous avons structuré le diagramme de flux de cet événement en cinq phases distinctes. Initialement, nous avons commencé par le chargement des conteneurs au parc visite, en supposant que tous ces conteneurs ont déjà passé l’inspection. Cette étape permet de synchroniser cet événement avec les événements antérieurs. Une fois le chargement achevé, les RS commencent à décharger les conteneurs du parc visite. Ensuite, les ITV se dirigent vers le parc visite pour charger ces conteneurs et les transporter soit vers la zone RS F1, soit vers la zone G2. Enfin, les RS situés près de chaque zone positionnent les conteneurs selon les plans prévus.

Dans cet événement, nous avons modélisé le cas où la zone RS est remplie, nécessitant le transport des conteneurs restants vers l’une des zones RTG pour stockage, ce qui est au cœur de notre problématique. Comme illustré dans le diagramme de flux précédent, les conteneurs restants sont transportés vers le RTG 3 et y sont stockés jusqu’à l’arrivée du client.

### 3.3 Expérimentation sur le modèle (simulation)

Dans cette étape, nous avons entrepris une analyse approfondie et une évaluation de l’état actuel de la supply chain du terminal à conteneurs DP WORLD Djazair en exécutant les simulations des diagrammes de flux que nous avons élaborés dans AnyLogic. Cette simulation nous a permis de comprendre les dynamiques opérationnelles et d’identifier les points de friction dans le processus existant.

Suite à cette analyse, nous avons formulé un scénario d’amélioration pour optimiser la productivité du terminal, alléger la charge sur les RTG, et réduire le temps d’attente des équipements.

### 3.3.1 Simulation de l'état actuel

Après avoir créé une modélisation détaillée du terrain du terminal et intégré les données nécessaires pour notre étude, ainsi qu'à élaborer les diagrammes de flux, nous avons procédé à la simulation de l'état actuel. Après une simulation de 5 heures dans AnyLogic, nous avons obtenu les résultats présentés dans les figures suivantes :

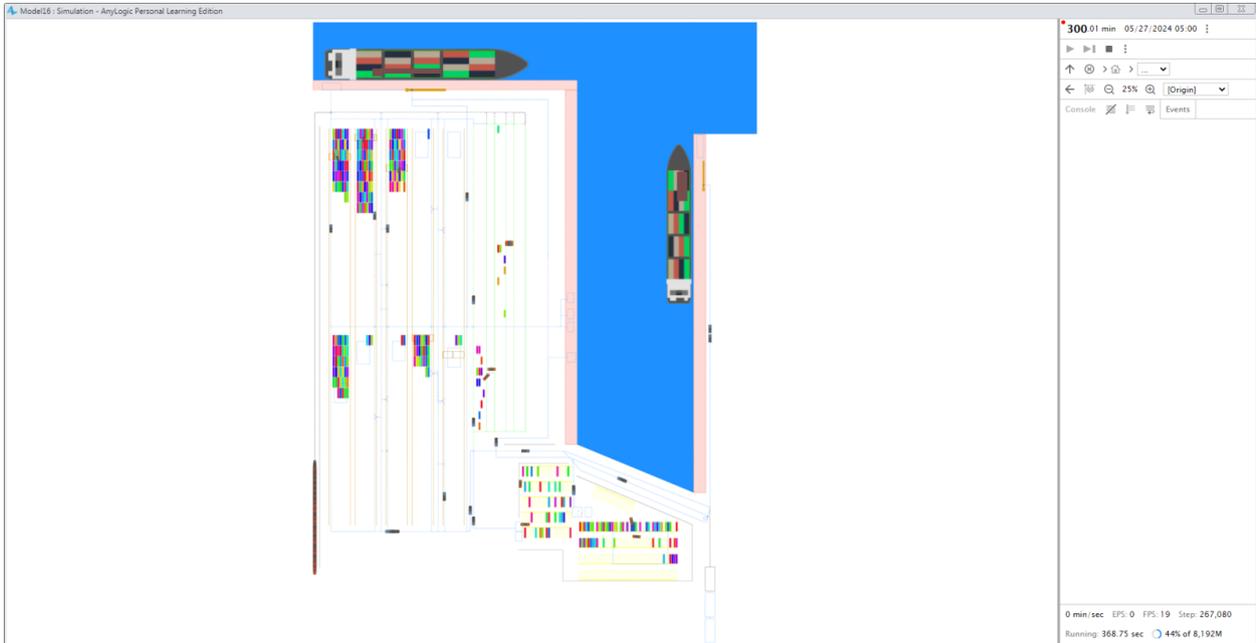


FIGURE 3.21 – Simulation en 2D du terminal DP WORLD Djazair dans Anylogic

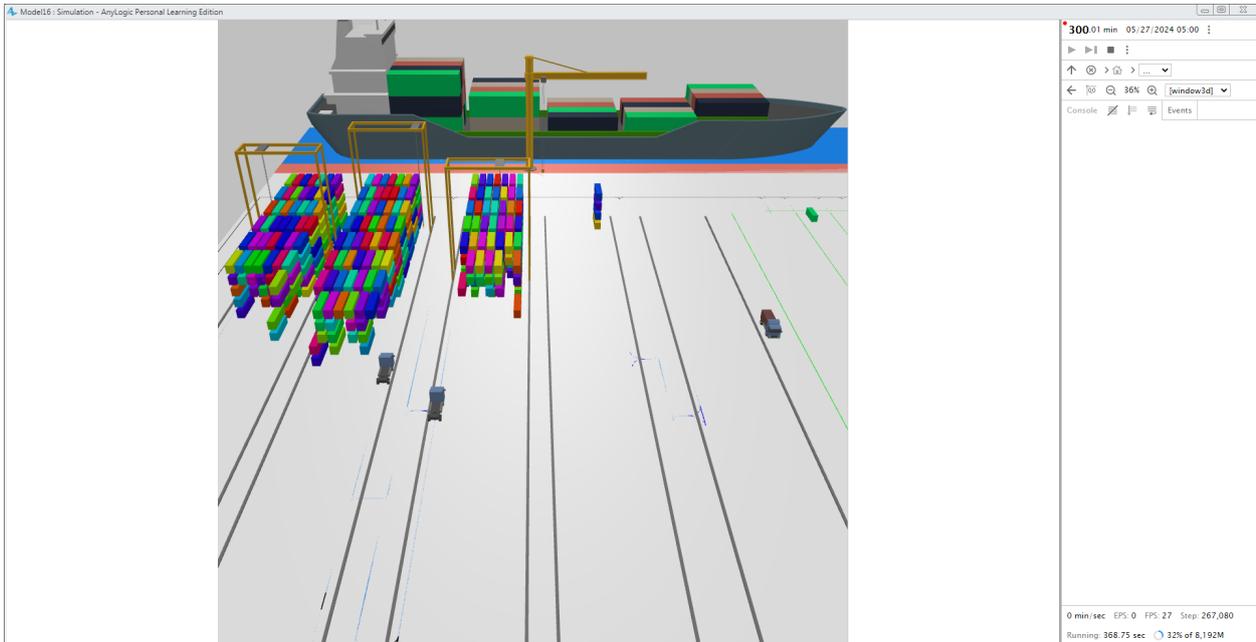


FIGURE 3.22 – Simulation en 3D de la zone RTG dans Anylogic

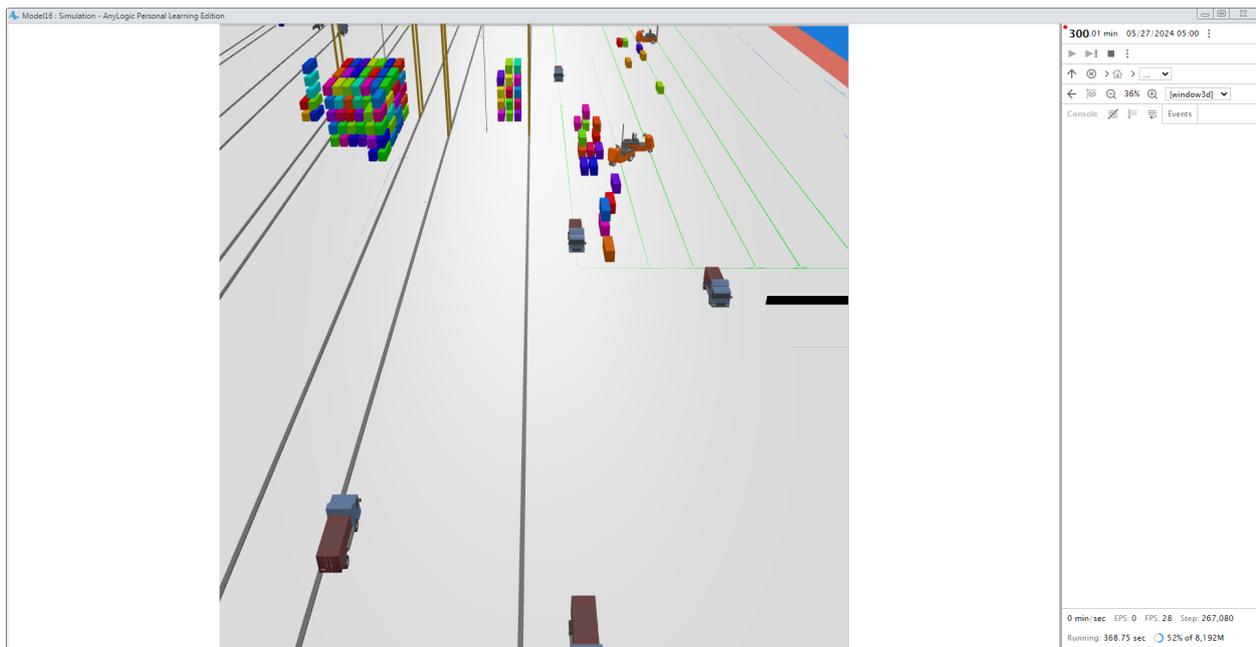


FIGURE 3.23 – Simulation en 3D de la zone RS dans Anylogic

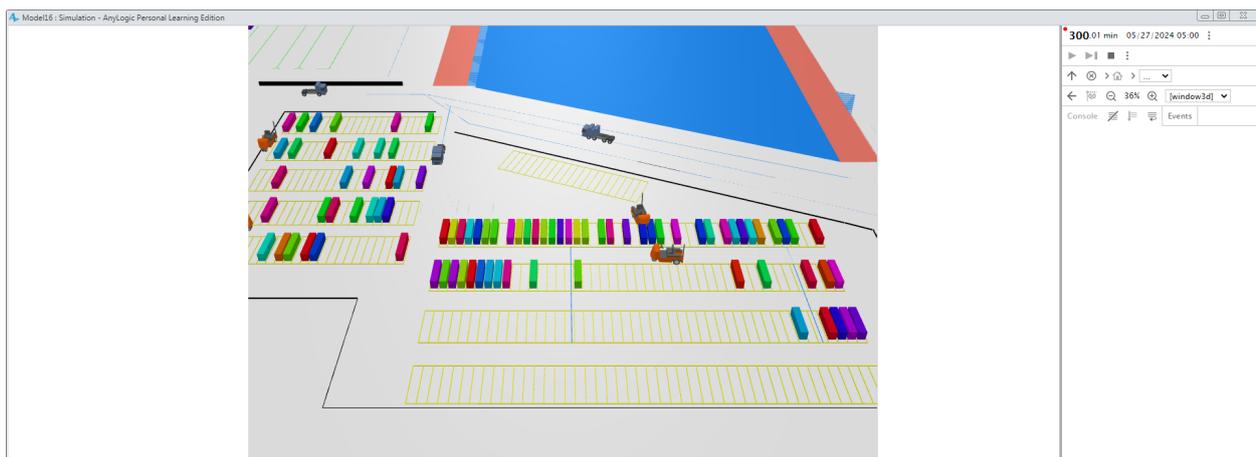


FIGURE 3.24 – Simulation en 3D du parc visite dans Anylogic

Cette simulation s'est basée sur les diagrammes de flux que nous avons développés pour chaque processus et Afin de mesurer le temps d'attente des équipements pour chaque processus, nous avons utilisé les outils "time measure start" et "time measure end" disponibles dans la palette d'AnyLogic. Nous avons ensuite traité les résultats de ces mesures sous forme de graphiques. Les résultats des événements sont les suivants :

### 1. Débarquement des navires

Après une simulation de 5 heures de ce diagramme, nous avons obtenu les résultats du diagramme de flux suivants :

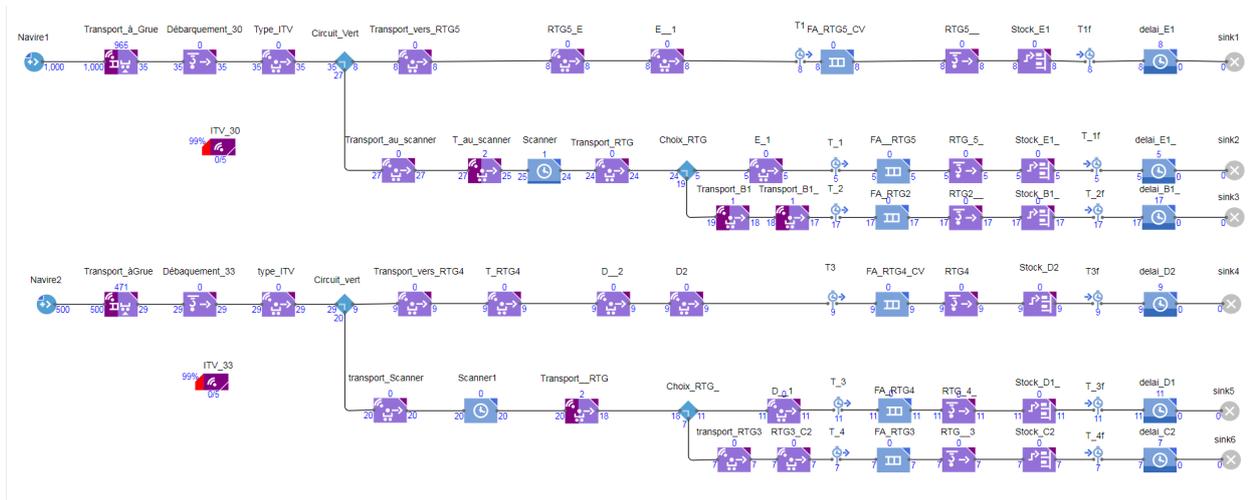


FIGURE 3.25 – Résultats de la simulation du diagramme des flux du processus de débarquement des navires

Après avoir effectué une simulation de 5 heures dans AnyLogic, nous avons observé que les ITV ont réalisé un total de 35 mouvements en relation avec le navire 1. Parmi ces mouvements, 8 concernaient les conteneurs du circuit vert, tandis que 27 étaient relatifs aux conteneurs hors circuit vert. Par conséquent, la productivité des ITV pour le navire 1 est estimée à 7 MVT/h. En ce qui concerne le navire 2, la productivité des ITV a été calculée à 5,8 MVT/h.

Pour évaluer de manière précise la productivité des ITV dans le processus de débarquement, nous avons examiné les résultats graphiques du temps d’attente des ITV avant leur stockage dans la zone RTG. Les résultats de cette analyse sont présentés dans la figure suivante :

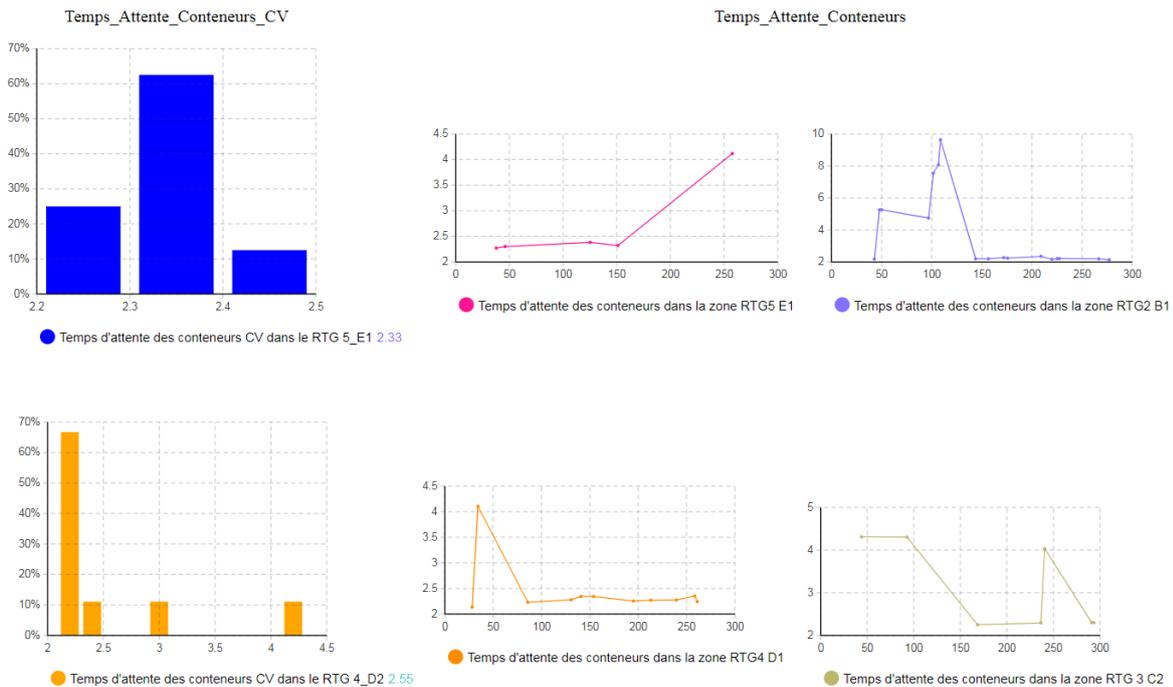


FIGURE 3.26 – Résultats du temps d’attente des conteneurs avant leur stockage dans RTG

Nous observons que :

Pour le navire 01, le temps d'attente moyen des conteneurs à RTG5 est de 2,68 minutes, ce qui témoigne d'une efficacité relative dans le processus de débarquement. Cependant, pour RTG2, où trois fonctions sont exécutées simultanément avec le débarquement, le temps d'attente moyen est plus élevé, à 3,82 minutes. Cette augmentation peut être attribuée à la charge de travail supplémentaire de cette RTG. En ce qui concerne les conteneurs du circuit vert, le temps d'attente moyen à RTG5 est de 2,33 minutes.

Pour le navire 02, le temps d'attente moyen des conteneurs du circuit vert à RTG4 est de 2,55 minutes. Cependant, pour les conteneurs hors circuit vert, le temps d'attente moyen est de 2,362 minutes pour RTG4 et de 3,027 minutes pour RTG3, cette dernière assumant également quatre fonctions simultanément avec le débarquement.

## 2. Le transport des conteneurs vers le parc visite et l'arrivée des camions des clients

Pour le deuxième événement, notre attention s'est portée sur le décompte des conteneurs dirigés vers le parc visite et ceux qui ont été déchargés et placés sur des camions, donc sortis du terminal. Les résultats de cette simulation de 5 heures dans AnyLogic sont illustrés dans la figure suivante :

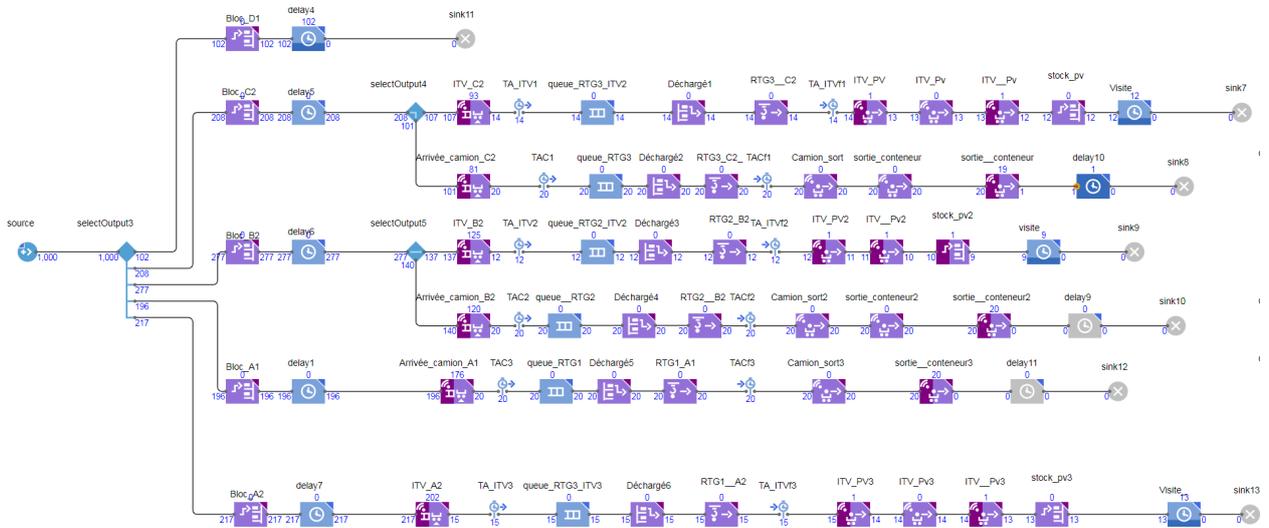


FIGURE 3.27 – Résultats de la simulation du diagramme des flux du transport des conteneurs vers le parc de visite et l'arrivée des camions des clients

D'après les données présentées dans la figure, nous avons constaté que les ITV ont réalisé un total de 41 mouvements pour transporter les conteneurs vers la zone de visite. Plus précisément, 14 mouvements ont été effectués par RTG3, 12 par RTG2 et 15 par RTG1 au cours des 5 heures de simulation. Cette répartition établit une productivité moyenne de 8,2 MVT/h.

Dans le contexte du déchargement et du dépôt des conteneurs sur les camions, une simulation

impliquant 60 camions a été réalisée. Afin d'évaluer les retards, nous avons simulé le temps d'attente à la fois des camions et des ITV avant que les RTG ne déposent les conteneurs sur ces derniers.

Les résultats de cette analyse sont illustrés dans la figure suivante :

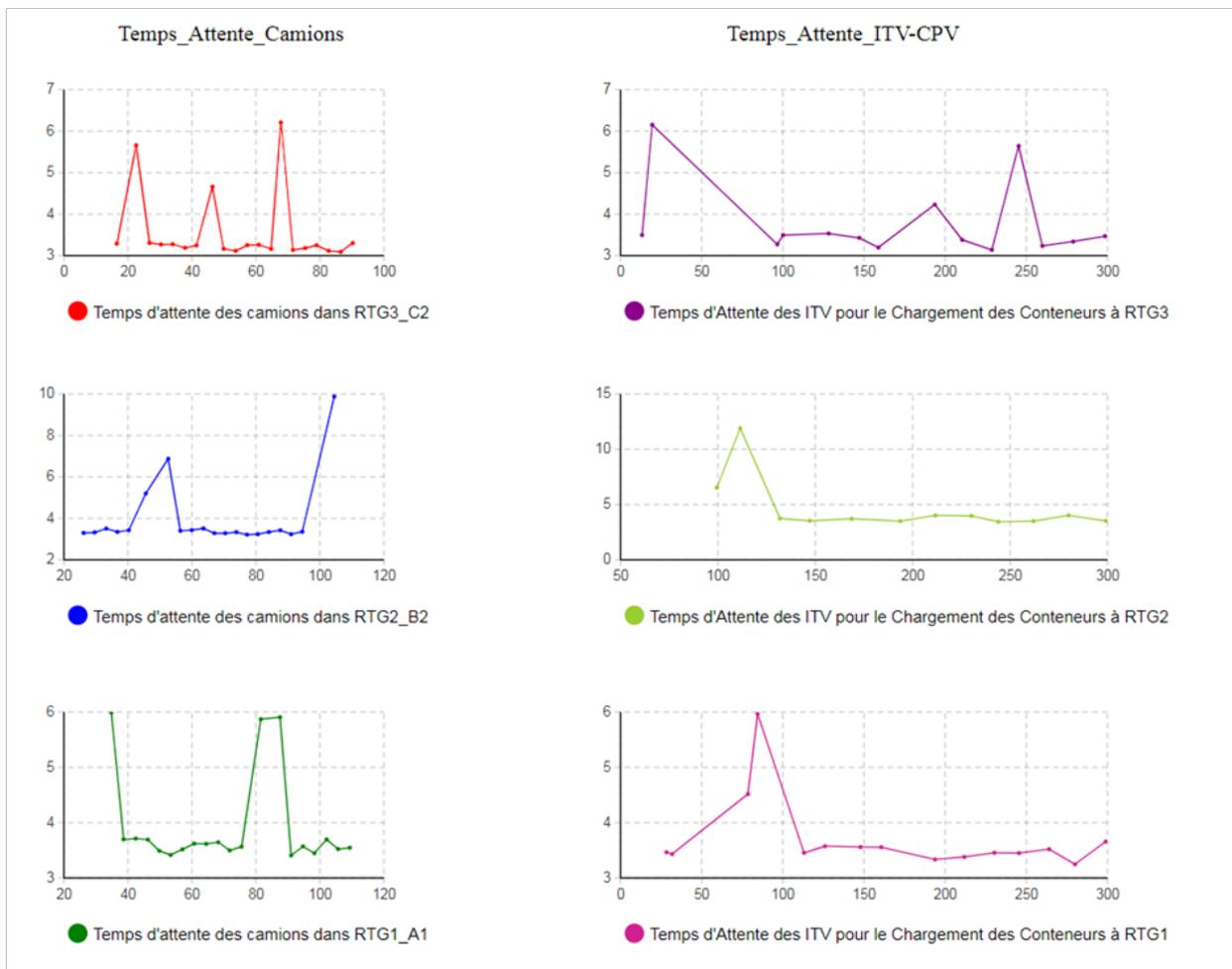


FIGURE 3.28 – Résultats du temps d'attente des camions et des ITV

Nous constatons que le temps moyen d'attente des camions varie selon la zone de RTG, avec une moyenne de 3.2509 minutes pour RTG 3, 3.9567 minutes pour RTG 2, et 3.84 minutes pour RTG 1. Quant aux ITV, le temps moyen d'attente varie également en fonction de la zone de RTG, avec une moyenne de 3.7655 minutes pour RTG 3, 4.49 minutes pour RTG 2, et 3.7168 minutes pour RTG 1. Ces retards soulignent les défis liés à la surcharge des RTG et à une allocation inefficace des tâches, ce qui confirme notre problématique initiale.

### 3. Le transport des conteneurs vers la zone RS après Visite

Dans le cadre de cet événement final, qui implique le transfert des conteneurs après leur visite vers la zone RS, avec le reste dirigé vers la zone RTG, nous observons une situation qui renforce notre problématique. En effet, l'affectation des conteneurs restants à la zone RTG perturbe considérablement les opérations principales de cette zone. Cette perturbation



tants de la zone RS sont également transférés vers le RTG 5. Les figures suivantes illustrent graphiquement les diagrammes de notre scénario.

**Simulation du scénario**

Pour évaluer l’impact de notre proposition de réaffectation des tâches des RTG, nous avons mené une simulation de 5 heures dans le logiciel AnyLogic. Cette simulation nous a permis d’analyser les performances et les flux opérationnels sous le nouveau scénario.

Les résultats présentés dans la figure suivante illustrent les modifications apportées dans la simulation des diagrammes de flux par rapport à l’état initial.

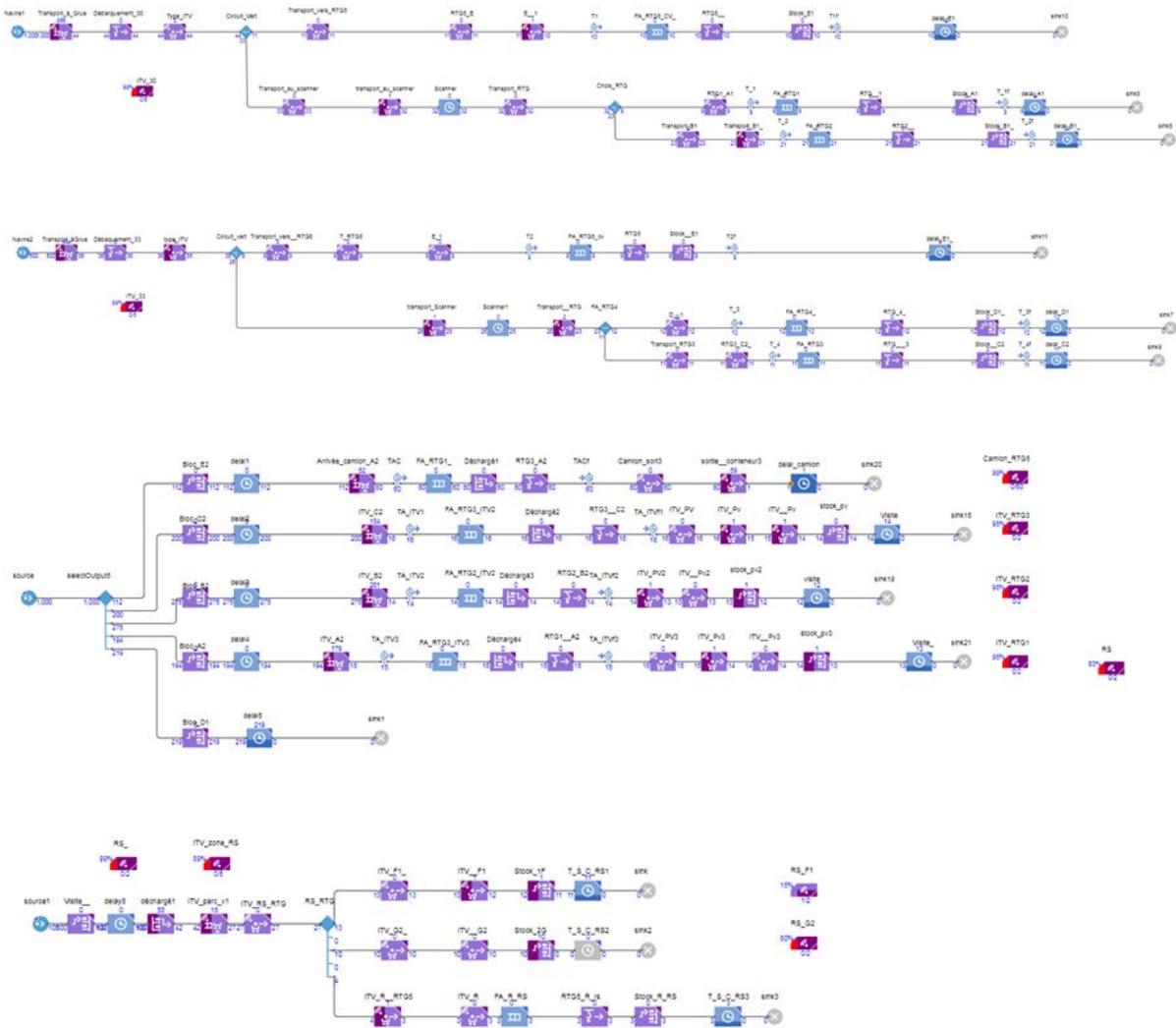


FIGURE 3.30 – Simulation des diagrammes des flux du scénario pour les 3 événements dans Anylogic

Selon les données extraites de la figure 26, nous constatons diverses informations pertinentes. Pour le premier diagramme de flux, en ce qui concerne les ITV transportant des conteneurs hors circuit vert provenant du navire 01, nous avons observé 44 mouvements sur une période de 5 heures, soit une moyenne de 8.8 MVT/h. Pour le navire 02, ce chiffre est de 7.2 MVT/h. En ce qui concerne les conteneurs de type circuit vert, acheminés directement vers la RTG 5

pour les deux navires, le navire 01 affiche une moyenne de 2.2 MVT/h, tandis que le navire 02 enregistre 1.8 mouvement par heure.

Quant au deuxième diagramme de flux, deux événements majeurs ont été identifiés. Le premier concerne l'arrivée des camions, tous dirigés vers la zone RTG 5. Nous avons programmé 60 camions, conformément à l'état initial. Le second événement concerne le déchargement des conteneurs destinés au parc visite, répartis entre les trois RTG (RTG 1, RTG 2 et RTG 3). Le nombre total de mouvements des ITV est de 9 MVT/h, distribué comme suit : pour le RTG 1, 3 MVT/h, pour le RTG 2, 2.8 MVT/h, et pour le RTG 3, 3.2 MVT/h.

Enfin, en ce qui concerne le dernier diagramme de flux, nous avons relevé que le nombre de mouvements restants dans la zone RS s'élève à 6 mouvements sur une période de 5 heures. Pour évaluer de manière approfondie l'impact de ce scénario sur la productivité des , nous avons simulé le temps d'attente des ITV lors du débarquement des conteneurs.

La figure suivante présente les résultats obtenus après la simulation dans AnyLogic, en mettant en évidence les variations des temps d'attente par rapport à l'état initial et en analysant les performances opérationnelles des ITV sous ce nouveau scénario.

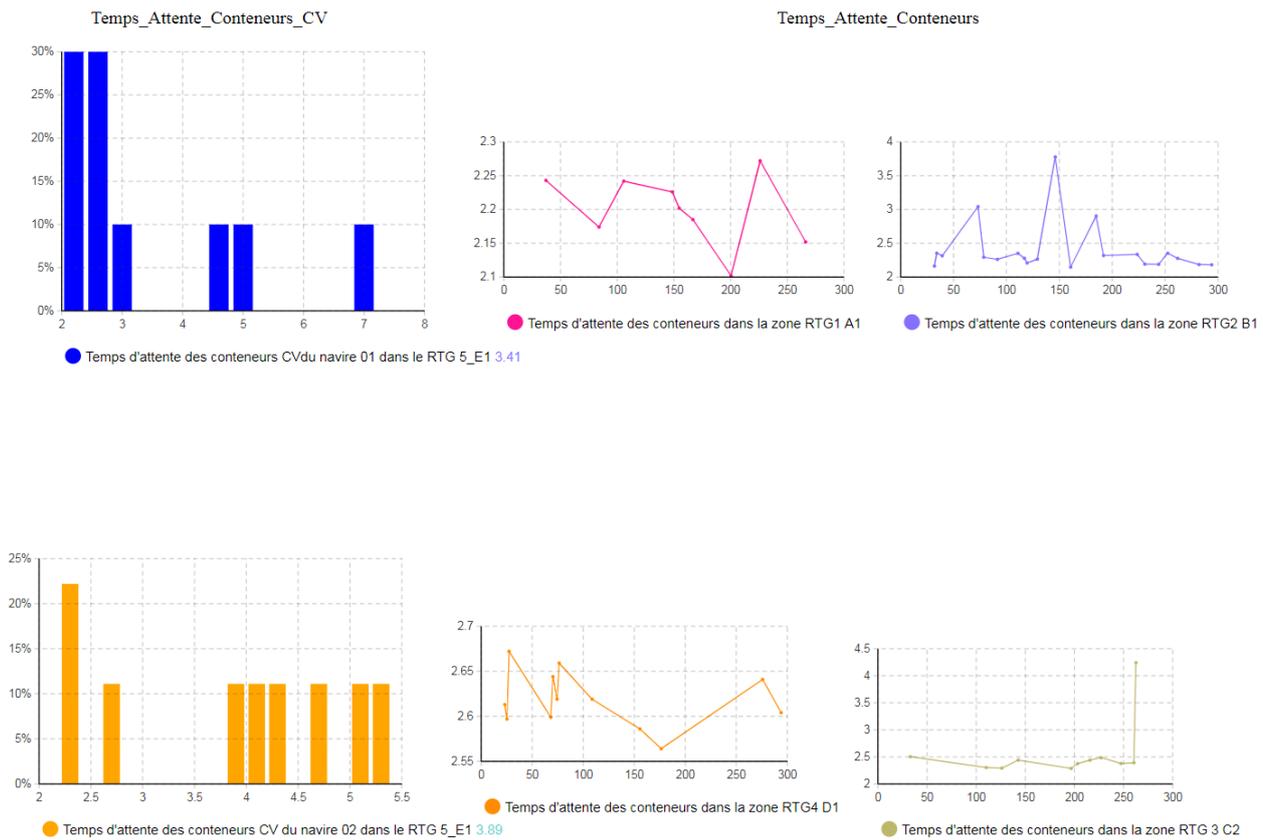


FIGURE 3.31 – Résultats du temps d'attente des ITV pour événement du débarquement des conteneurs pour le scénario

Nous constatons que le temps d'attente moyen des ITV transportant les conteneurs du circuit vert varie selon les navires. Pour le navire 01, ce temps moyen est de 3.41 minutes, tandis qu'il est de 3.89 minutes pour le navire 02. En ce qui concerne les conteneurs hors circuit vert, les

temps d'attente moyens des ITV diffèrent également en fonction des zones de déchargement. Pour le navire 01, ces temps moyens sont respectivement de 2.333 minutes dans la zone RTG1 et de 2.425 minutes dans la zone RTG2. Pour le navire 02, les temps d'attente moyens des ITV sont de 2.61 minutes dans la zone RTG4 et de 2.64 minutes dans la zone RTG3. Ces résultats mettent en évidence l'impact significatif de la réaffectation des tâches sur les temps d'attente et la productivité des ITV. Afin de mieux évaluer cet impact sur l'efficacité globale des processus du terminal, nous avons également examiné les temps d'attente des camions et des ITV lors du transport des conteneurs vers le parc visite.

Les résultats de cette analyse sont illustrés dans la figure suivante :



FIGURE 3.32 – Résultats du temps d'attente des camions et des ITV du scénario

D'après la figure suivante, nous avons observé que le temps d'attente moyen des camions dans la zone RTG 5 est de 3.48 minutes . Pour les ITV transportant les conteneurs vers le parc visite, le temps d'attente moyen est de 3.489 pour RTG 3, de 3.84 pour RTG 2, et de 3.317 pour RTG1.

### 3.4 Rapport et conclusion

Cette étape représente la phase finale de notre démarche de simulation. Nous avons comparé les résultats de l'état actuel avec ceux obtenus pour le scénario proposé, en nous focalisant sur la réaffectation des tâches des RTG. Les indicateurs utilisés pour cette évaluation comprennent le temps d'attente des ITV et des camions, ainsi que les mouvements des ITV pour chaque événement du terminal à conteneurs DP World Djazair.

Pour illustrer l'impact de notre scénario par rapport à l'état initial, nous avons élaboré le tableau récapitulatif suivant :

TABLE 3.7 – Comparaison des processus dans l'état initial et dans le scénario

| Processus   | Dans l'état initial                           |                      | Dans le Scénario                           |                      |
|---|---|----------------------|--|----------------------|
|   | Temps d'attente Moyen (Min)                   | Productivité (MVT\h) | Temps d'attente Moyen (Min)                | Productivité (MVT\h) |
| Les ITV pour débarquer les conteneurs du navire 01 (Circuit vert)     | 2.33  | 1.6                  | 3.41                                       | 2.2                  |
| Les ITV pour débarquer les conteneurs du navire 01 (Non circuit vert) | 3.82  | 5.4                  | 2.42                                       | 6.6                  |
| Les ITV pour débarquer les conteneurs du navire 02 (Circuit vert)     | 2.55  | 1.8                  | 3.89                                       | 1.8                  |
| Les ITV pour débarquer les conteneurs du navire 02 (Non circuit vert) | 3.027   | 4                    | 2.64                                       | 5.2                  |
| Les ITV qui transportent les conteneurs au parc visite                | RTG3 : 3.7655<br>RTG2 : 4.49<br>RTG1 : 3.72   | 8.2                  | RTG3 : 3.48<br>RTG2 : 3.84<br>RTG1 : 3.317 | 9                    |
| Les camions   | RTG3 : 3.2509<br>RTG2 : 3.9567<br>RTG1 : 3.84 | /                    | 3.48                                       | /                    |

D'après les résultats obtenus suite aux simulations réalisées dans AnyLogic, nous observons plusieurs améliorations significatives dans le scénario proposé par rapport à l'état actuel

du terminal. La productivité des ITV pour le débarquement des conteneurs des navires, qu'ils soient en circuit vert ou non, a augmenté, avec une notable augmentation pour les conteneurs du navire 01 (Non circuit vert), où la productivité est passée de 5.4 MVT/h à 6.6 MVT/h, tandis que le temps d'attente moyen pour certains processus a diminué, comme pour les conteneurs du navire 02 (Non circuit vert) où il est passé de 3.027 minutes à 2.64 minutes. La productivité des ITV transportant les conteneurs vers le parc de visite a également augmenté, passant de 8.2 MVT/h à 9 MVT/h, et le temps d'attente moyen des RTG a légèrement diminué, accélérant ainsi le processus global. Le scénario a conduit à une meilleure organisation des camions, réduisant significativement leur temps d'attente moyen.

En somme, le scénario proposé permet d'augmenter la productivité tout en réduisant les temps d'attente et de séjour des navires, rendant le terminal plus efficace dans la gestion des flux de conteneurs et renforçant sa compétitivité. La mise en œuvre de ce scénario devrait donc être considérée comme une étape stratégique pour améliorer la performance opérationnelle du terminal et répondre de manière plus efficace aux besoins croissants du commerce maritime.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé la résolution de la problématique en suivant la méthodologie de simulation. Cela nous a permis de concevoir un modèle du terminal DP World Djazair dans AnyLogic, permettant de simuler leur supply chain et d'évaluer la performance de l'état actuel. Par la suite, nous avons proposé un scénario et l'avons évalué en vue d'améliorer la performance globale du terminal.

# Conclusion générale

Le terminal à conteneurs occupe une position centrale dans la chaîne logistique portuaire, influençant de manière significative la performance du transport maritime à l'échelle mondiale. Étant donné que le transport maritime constitue le pilier du commerce international, la compétence opérationnelle des terminaux à conteneurs revêt une importance stratégique cruciale pour faciliter ces échanges. Ces installations assument un double rôle en supervisant à la fois l'importation et l'exportation de marchandises, coordonnant ainsi des processus complexes. Pour l'importation, elles doivent satisfaire les exigences des clients pour la livraison terrestre des conteneurs, tout en garantissant une efficacité maximale dans les opérations de déchargement des navires pour les compagnies maritimes. En revanche, pour l'exportation, ces responsabilités sont inversées. Parallèlement, les opérations internes des terminaux, telles que la manutention et le transport interne entre différentes zones, ajoutent une couche supplémentaire de complexité à la chaîne d'approvisionnement. Cette complexité expose les terminaux à conteneurs à divers défis, notamment la gestion optimale des calendriers d'activités et la planification des ressources pour chaque processus, ce qui entrave leur efficacité opérationnelle globale.

Notre étude se concentre sur l'équipement RTG, essentiel au cœur de la supply chain interne du terminal DP WORLD Djazair, participant à tous les processus de celui-ci. La gestion non optimisée des tâches de cet équipement constitue un défi majeur pour la performance globale du terminal. Malgré les scénarios élaborés par le service de planification, les défis persistent en raison de la nature multidimensionnelle des processus impliquant les RTG.

Pour répondre à ces défis, nous avons proposé comme solution la simulation du terminal à conteneurs, intégrant les différents processus d'importation dans AnyLogic, afin d'évaluer la performance actuelle des RTG et des autres processus globaux. Ensuite, nous avons développé un scénario d'organisation des tâches pour les RTG, qui a démontré une amélioration significative en termes de productivité pour les processus de débarquement, de réduction des temps d'attente des équipements internes et des camions des clients externes. Ce scénario permet de satisfaire à la fois les exigences des clients (livraison rapide de leurs conteneurs) et celles des navires (réduction du temps d'escale par un déchargement rapide), ainsi que d'optimiser les processus internes entre les différentes zones du terminal.

Notre solution de simulation présente des avantages substantiels pour optimiser les opérations du terminal à conteneurs. Cependant, elle est également confrontée à des limitations,

telles que :

**En ce qui concerne le logiciel AnyLogic :**

- Nous avons utilisé la version personnelle qui limite la durée de simulation à 5 heures, ce qui peut ne pas suffire pour simuler le déchargement complet d'un navire.
- Le nombre de blocs dans le diagramme des flux est limité, ce qui restreint notre capacité à modéliser tous les processus et tous les équipements.
- Certaines fonctionnalités nécessaires, telles que la gestion des distances entre les équipements dans la circulation, ne sont pas disponibles.

**En termes opérationnels :**

- Nous avons concentré notre processus sur l'importation des conteneurs en raison de contraintes de temps, laissant peu de temps pour les processus d'exportation et d'autres zones de stockage.
- Nous n'avons pas pris en compte les pannes et les arrêts de travail réels, nous basant plutôt sur une modélisation idéale des processus.
- Les flux d'informations, tels que la position programmée des équipements, n'ont pas été intégrés dans notre modélisation.

Bien que notre solution soit confrontée à ces limitations techniques et opérationnelles, elle demeure un outil essentiel qui s'aligne parfaitement avec la mission de DP WORLD Djazair. En soutenant l'objectif de maintenir des opérations portuaires de classe mondiale, notre approche contribue directement à assurer une gestion efficace des conteneurs et à offrir une expérience client optimale, en accord avec les valeurs d'excellence opérationnelle, d'innovation et d'intégrité de l'entreprise. Cette démarche vise à répondre aux défis complexes de la logistique portuaire, en optimisant les processus internes et en améliorant la productivité des équipements, notamment les RTG, au sein du terminal DP WORLD Djazair.

# Bibliographie

- [1] Acteurs portuaires. <https://portdeguyane.fr/acteurs-portuaires/>. Consulté en avril 2024.
- [2] Armateurs : compagnies maritimes de transport par conteneurs. <https://fr.statista.com/infographie/31467/>. consulté en avril 2024.
- [3] Assurance maritime et responsabilité du transporteur : comprendre les limites et les obligations. <https://logistiquemagazine.com/>. Consulté avril 2024.
- [4] Commerce mondial : les plus gr.s ports en 2005 et 2021. <https://www.statista.com/statistics/268755/top-30-container-ports-worldwide/>. Consulté en février 2024.
- [5] Conteneur maritime 20' HC. <https://www.heraclesnegoce.fr/conteneur-maritime-20-hc.html>. Consulté en juillet 2024.
- [6] Dp world - our locations. <https://www.dpworld.com/about-us/our-locations>. Consulté en Mars 2024.
- [7] Dp world djazair - google earth. [https://earth.google.com/web/search/DP+WORLD+DJAZAIR/@36.75906196,3.07132274,-0.18857413a,2130.21032495d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCWr0Ue\\_RYkJAeAS7CJL3X0JAGXU82WuwxwhAIbQ7rizGVghAOgMKATA](https://earth.google.com/web/search/DP+WORLD+DJAZAIR/@36.75906196,3.07132274,-0.18857413a,2130.21032495d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCWr0Ue_RYkJAeAS7CJL3X0JAGXU82WuwxwhAIbQ7rizGVghAOgMKATA). Consulté en juin 2024.
- [8] Définition de importateur. <https://www.glossaire-international.com/pages/tous-les-termes/importateur.html>. Consulté en avril 2024.
- [9] Définition : Entreprise portuaire. <https://www.tarifdouanier.eu/info/abreviations/4860>. Consulté en avril 2024.
- [10] Les différents types de flux de la supply chain. <https://www.supplychaininfo.eu/faq/quels-differents-types-flux-supply-chain/>. Consulté en avril 2024.
- [11] Ports managed by dp world (dubai ports). <https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/...> Consulté en Mars 2024.
- [12] Trafic de conteneurs dans les ports (teu : unités équivalents 20 pieds). <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.SHP.GOOD.TU>. Consulté en février 2024.
- [13] Trafic de conteneurs dans les ports (teu : unités équivalents 20 pieds) - algeria. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IS.SHP.GOOD.TU?end=2020&locations=DZ&start=2000&view=chart&year=2017>. Consulté en février 2024.
- [14] Port d'alger : Dp world parachève la modernisation du terminal. *La Patrie News*, 2022.

- [15] Mohamed Nezar Abourraja. *Gestion multi-agents d'un terminal à conteneurs*. PhD thesis, Norm.ie Université; Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc), 2018.
- [16] Dmitry . Kotov Dmitry . Davardoost Hadi . Smolenchuk Anna Afanasyev, Mikhail . Pervukhin. System modeling in solving mineral complex logistic problems with the anylogic software environment. *Transportation Research Procedia*, 68 :483–491, 2023.
- [17] Aicha Amrani. *Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique : Modélisation et simulation*. PhD thesis, Université Bordeaux 1, 2009.
- [18] AnyLogic. Ai . simulation for container yard planning.
- [19] AnyLogic. Anylogic process modeling library.
- [20] Pierre Bauchet. *Les transports mondiaux : instrument de domination*. FeniXX, 1997.
- [21] Y BELOUCHRANI, K.E . BEGHADAD. Optimisation de la performance des supply chains phoenicicoles : Cas de l'entreprise haddoud, 2022.
- [22] Abderaouf Benghalia. *Modélisation et évaluation de la performance des terminaux portuaires*. PhD thesis, Université du Havre, 2015.
- [23] K. Benganem, F. . Mouleriche. Modélisation et simulation de la supply chain en vue d'évaluer et d'améliorer sa performance – application tchin\_lait algérie, 2018.
- [24] O. Bouderbala. L'impact de la manutention maritime des conteneurs sur la logistique d'une entreprise portuaire. Étude de cas : Entreprise portuaire d'oran, 2016.
- [25] Y Bouhalouane, R . Brahim. Minimisation du temps de séjour des navires dans un port (cas de l'entreprise djazair port world "dpw"), 2021.
- [26] Centre de Recherche Économique. Rapport de la 113<sup>ème</sup> table ronde d'économie des transports : La desserte terrestre des ports maritimes. Technical report, Centre de Recherche Économique, Paris, 1998.
- [27] F. Chevalier, D. . Duphil. *Le transport*. Foucher, Paris, 1995.
- [28] P Chopra, Sunil . Meindl. Supply chain management : strategy, planning, . operation (2001). *Peter Meindl*, 2001.
- [29] Jacques Colin. Le supply chain management existe-t-il réellement ? *Revue française de gestion*, (3) :135–149, 2005.
- [30] Ministère de l'Équipement et Bearingpoint France. 2005.
- [31] Administration des douanes algériennes. Article 4 du code des douanes algérien. *Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire*, 1979.
- [32] DP WORLD Djazair. Document interne de l'entreprise.
- [33] A Drogoul. De la simulation multi-agent à la résolution collective de problèmes. une étude de l'émergence de structures d'organisation dans les sma, 1993.
- [34] Jean-Daniel Drogoul, Alexis . Zucker. *Modélisation et simulation à base d'agents : Exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques*. Dunod, 2008.
- [35] Julien Dubreuil. *La logistique des terminaux portuaires de conteneurs*. CIRRELT, 2008.
- [36] M'hammed Setti . Fatima-Zohra Mohamed-Cherif . César Ducruet. Les ports algériens dans la mondialisation : la fin du paradoxe ? *Méditerranée - Géographie*, 2011.

- [37] Pierre . Yannou Bernard Fontanili, Franck . Castagna. Les outils de simulation. *Extrait de : La simulation pour la gestion des chaînes logistiques (chap. 10)/sous la dir. de C. THIERRY, A. THOMAS et G. BEL*, pages p-339, 2008.
- [38] D Gr. Larousse. Gr. dictionnaire encyclopédique larousse (gr. larousse univ. . . , vol. 1). gr. larousse universel, 1989.
- [39] C.H Guerin, F . Fredouet. *Le management portuaire : les nouveaux enjeux*. e-thèque, 2002.
- [40] Mohammed JALAL, Chaimae . NMILI. La supply chain et la performance logistique. *Revue Internationale du Chercheur*, 1(2), 2020.
- [41] G.M. Jean. *Droit, économie et finances portuaires*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1999.
- [42] Corey Lee, Hau L . Billington. Material management in decentralized supply chains. *Operations research*, 41(5) :835-847, 1993.
- [43] Nadine Miani, Patrick . Venturelli. *Transport logistique*. Le Génie éditeur, 2021.
- [44] Selim . Rakhmangulov Aleks.r . Aydogdu Yusuf Volkan Muravev, Dmitri . Aksoy. Comparing model development in discrete event simulation on ro-ro terminal example. *International Journal of Logistics Systems . Management*, 24(3) :283-297, 2016.
- [45] Port d'Alger. La prise en charge du conteneur durant les différentes phases maritimes et terrestres de son exploitation. (58) :30, octobre 2003.
- [46] A. Rakhoui, C. . Saadane. L'impact de la digitalisation sur l'amélioration de la performance logistique portuaire, 2023.
- [47] A Rakhoui, C . Saadane. L'impact de la digitalisation sur l'amélioration de la performance logistique portuaire, 2023.
- [48] Robert Rezenthel. *Le Régime d'Exploitation des Terminaux Portuaires*. Moreaux, 2001.
- [49] Robert E Shannon. Introduction to the art . science of simulation. In *1998 winter simulation conference. proceedings (cat. no. 98ch36274)*, volume 1. IEEE, 1998.
- [50] MERZOUG Slimane. La logistique maritime et portuaire et les échanges internationaux etude de cas l'algérie maritime . port logistics . international trade case study algeria. 2023.
- [51] Martin Stopford. *Maritime economics*, 2011.
- [52] Loo Hay . Chew Ek Peng . Tan Kok Choon Sun, Zhuo . Lee. Microport : A general simulation platform for seaport container terminals. *Advanced Engineering Informatics*, 26(1) :80-89, 2012.
- [53] DP World. Dp world investor presentation. *Nom du journal*, 2024.
- [54] M.F.E. Ziani. Le rôle d'un opérateur portuaire dans l'amélioration des opérations d'exportation, 2022.

# Chapitre 4

## Annexes

# Annexe 1

| Utilisation | Type                  |  | Explication   |
|-------------|-----------------------|--|---|
| Manutention | Grues                 | Grue mobile de quai (Mobile Harbour Crane) | La grue mobile est un équipement polyvalent utilisé dans les opérations portuaires pour charger et décharger les conteneurs entre le navire et le quai. Elle peut être montée sur des rails ou équipée de pneus pour faciliter sa mobilité.                               |
|             |                       | Grue navire                                | Une grue de bord navire est un type de grue fixée à la structure du navire, servant à la manutention de diverses charges, notamment les conteneurs vides ou pleins.   |
|             | Portiques spécialisés | Le RTG (Rubber Tyred Gantry)               | Ce sont des portiques sur pneu qui permettent de stocker les conteneurs sur 4 ou 5 niveaux. Il ne se déplace que sur des lignes droites.  |
|             |                       | Le RMG (Rail Mounted Gantry)               | Ce sont des portiques sur rail dans la cour du terminal, utilisés pour empiler les conteneurs sur plusieurs niveaux et pour charger/décharger les trains. Le système RMG est préféré car il permet au portique de se déplacer vers la zone de stockage selon les besoins. |
|             |                       | Le OBC (Overhead Bridge Cranes)            | Ce sont des portiques dans la cour du terminal, utilisés pour déplacer les conteneurs directement depuis les navires en les empilant avec des traversées araignées, et pour les transferts sur les quais.   |
|             |                       | L'ASC (Automatic Stacking Crane)           | C'est un portique permettant une manutention sur parc automatisée. Les RMG sont téléguidés par le système de gestion des opérations.  |

|   |                                   |  |
|---|-----------------------------------|--|
| Transport et de stockage des conteneurs | L'AGV (Automated Guided Vehicles) | C'est un genre de robot mobile qui suit des repères pour déplacer les conteneurs entre le quai et la zone de stockage, ou dans l'autre sens. Ils sont coûteux à mettre en place car ils peuvent charger soit un conteneur de 40 pieds, soit deux conteneurs de 20 pieds à la fois.                             |
|   | ALV (Automated Lifting Vehicles)  | Les ALV ou chariots cavaliers sont des véhicules polyvalents utilisés pour déplacer les conteneurs entre la zone de stockage et les quais, tout en étant capables d'effectuer diverses opérations de manutention dans la cour.   |
|   | ECH (Empty Container Handler)     | Ces équipements sont spécialement conçus pour déplacer et manipuler les conteneurs vides dans les terminaux portuaires et les zones de stockage.   |
|   | ITV (Internal Transfer Vehicle)   | Ce sont des véhicules articulés simples et courants, semblables à des tracteurs avec des remorques. Leur travail principal consiste à relier les quais à la zone de stockage, ou l'inverse. Les remorques peuvent transporter deux EVP, soit deux conteneurs de vingt pieds ou un conteneur de quarante pieds. |
|   | RS (Reach Stacker)                | Ces engins sont utilisés pour déplacer des conteneurs pleins ou vides dans les terminaux portuaires ou les zones de stockage.  |

TABLE 4.1 – Explication des équipements de manutention et de transport des conteneurs

# Annexe 2

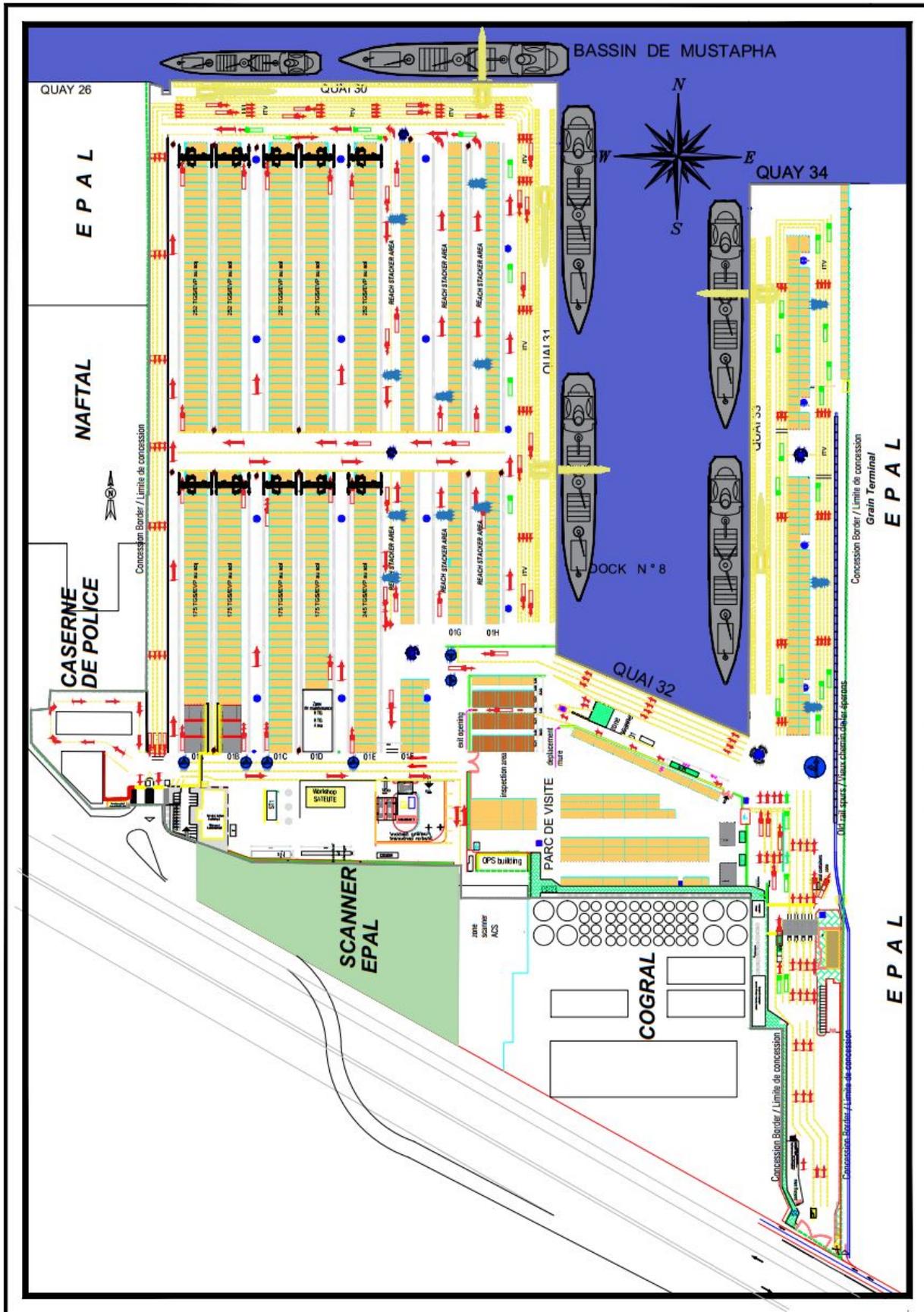


FIGURE 4.1 – Plan de masse du terminal DP World Djazair

# Annexe 3

## Résultats de la simulation de l'état actuel dans AnyLogic

| Temps d'attente des conteneurs CV dans le RTG 5_E1 |                    |       |       |
|--|--------------------|-------|-------|
| from   | to                 | PDF   | CDF   |
| 2.2  | 2.3000000000000003 | 0.25  | 0.25  |
| 2.3000000000000003                                 | 2.4000000000000004 | 0.625 | 0.875 |
| 2.4000000000000004                                 | 2.5000000000000004 | 0.125 | 1     |
|  |                    |       |       |
|  |                    |       |       |
| Temps d'attente des conteneurs CV dans le RTG 4_D2 |                    |       |       |
| from   | to                 | PDF   | CDF   |
| 2.1  | 2.3000000000000003 | 0.667 | 0.667 |
| 2.3000000000000003                                 | 2.5000000000000004 | 0.111 | 0.778 |
| 2.5000000000000004                                 | 2.7000000000000006 | 0     | 0.778 |
| 2.7000000000000006                                 | 2.9000000000000001 | 0     | 0.778 |
| 2.9000000000000001                                 | 3.1000000000000001 | 0.111 | 0.889 |
| 3.1000000000000001                                 | 3.3000000000000001 | 0     | 0.889 |
| 3.3000000000000001                                 | 3.5000000000000013 | 0     | 0.889 |
| 3.5000000000000013                                 | 3.7000000000000015 | 0     | 0.889 |
| 3.7000000000000015                                 | 3.9000000000000017 | 0     | 0.889 |
| 3.9000000000000017                                 | 4.1000000000000001 | 0     | 0.889 |
| 4.1000000000000001                                 | 4.3000000000000002 | 0.111 | 1     |

FIGURE 4.2 – Temps d’attente des conteneurs du circuit vert pour le déchargement par RTG

| Pour le stockage des Conteneurs à RTG5 E1 |   | Pour le stockage des Conteneurs à RTG4 D1 |                              |
|---|---|---|------------------------------|
| Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min)                        | Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min) |
| 46.049                                    | 2.302   | 34.274                                    | 4.103                        |
| 125.157                                   | 2.383   | 85.883                                    | 2.231                        |
| 151.143                                   | 2.323   | 130.663                                   | 2.279                        |
| 257.746                                   | 4.118   | 140.851                                   | 2.346                        |
|   |   | 153.745                                   | 2.343                        |
|   |   | 195.116                                   | 2.254                        |
|   |   | 213.073                                   | 2.27                         |
|   |   | 239.571                                   | 2.275                        |
|   |   | 258.55                                    | 2.354                        |
|   |   | 261.079                                   | 2.244                        |
| Pour le stockage des Conteneurs à RTG2 B1 |   | Pour le stockage des Conteneurs à RTG3 C2 |                              |
| Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min)                        | Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min) |
|   | Temps d'attente des conteneurs dans la zone RTG2 B1 |   |                              |
| 42.787                                    | 2.188   | 43.797                                    | 4.311                        |
| 47.9                                      | 5.26  | 92.608                                    | 4.307                        |
| 49.952                                    | 5.27  | 168.563                                   | 2.251                        |
| 96.803                                    | 4.745   | 236.574                                   | 2.292                        |
| 101.647                                   | 7.552   | 240.637                                   | 4.033                        |
| 106.712                                   | 8.076   | 291.256                                   | 2.301                        |
| 108.708                                   | 9.638   | 293.51                                    | 2.3                          |
| 143.874                                   | 2.198   |   |                              |
| 156.523                                   | 2.201   |   |                              |
| 171.829                                   | 2.271   |   |                              |
| 175.688                                   | 2.243   |   |                              |
| 209.073                                   | 2.354   |   |                              |
| 219.969                                   | 2.166   |   |                              |
| 225.331                                   | 2.214   |   |                              |
| 227.353                                   | 2.215   |   |                              |
| 266.645                                   | 2.199   |   |                              |
| 277.203                                   | 2.143   |   |                              |

FIGURE 4.3 – Temps d’attente des conteneurs du non circuit vert pour le déchargement par RTG

| Pour le déchargement des Conteneurs pour l'inspection à RTG1 |                               |
|--|-------------------------------|
| Temps d'arrivée des ITV(min)                                 | Temps d'Attente des ITV(min)  |
| 13.287   | 3.496                         |
| 19.544   | 6.154                         |
| 96.639   | 3.272                         |
| 100.242  | 3.497                         |
| 128.225  | 3.534                         |
| 147.061  | 3.43                          |
| 158.932  | 3.197                         |
| 193.612  | 4.231                         |
| 210.557  | 3.379                         |
| 228.768  | 3.141                         |
| 245.339  | 5.644                         |
| 259.892  | 3.233                         |
| 278.882  | 3.34                          |
| 298.453  | 3.469                         |
| Pour le déchargement des Conteneurs pour l'inspection à RTG1 |                               |
| Temps d'arrivé des ITV (min)                                 | Temps d'Attente des ITV (min) |
| 99.458   | 6.52                          |
| 111.458  | 11.902                        |
| 131.856  | 3.741                         |
| 147.228  | 3.536                         |
| 168.672  | 3.723                         |
| 193.634  | 3.496                         |
| 211.719  | 4.019                         |
| 230.138  | 3.987                         |
| 243.923  | 3.442                         |
| 261.979  | 3.507                         |
| 280.061  | 4.019                         |
| 299.293  | 3.534                         |
| Pour le déchargement des Conteneurs pour l'inspection à RTG1 |                               |
| Temps d'arrivé des ITV (min)                                 | Temps d'Attente des ITV (min) |
| 28.362   | 3.464                         |
| 31.83  | 3.432                         |
| 78.504   | 4.517                         |
| 84.504   | 5.964                         |
| 113.025  | 3.455                         |
| 125.97   | 3.574                         |
| 147.868  | 3.56                          |
| 160.618  | 3.557                         |
| 193.695  | 3.335                         |
| 211.784  | 3.381                         |
| 230.31   | 3.456                         |
| 245.48   | 3.449                         |
| 264.086  | 3.52                          |
| 279.992  | 3.247                         |
| 298.881  | 3.657                         |

FIGURE 4.4 – Temps d'attente des ITV pour que les RTG déchargent leurs conteneurs planifiés à l'inspection

| Pour la livraison des camions à RTG3_C2 |                                  |
|---|----------------------------------|
| Temps d'arrivée des camions(min)        | Temps d'Attente des camions(min) |
| 16.544                                  | 3.289                            |
| 22.544                                  | 5.661                            |
| 26.74                                   | 3.308                            |
| 30.339                                  | 3.271                            |
| 33.972                                  | 3.277                            |
| 37.849                                  | 3.191                            |
| 41.416                                  | 3.245                            |
| 46.416                                  | 4.663                            |
| 49.902                                  | 3.166                            |
| 53.709                                  | 3.117                            |
| 57.29                                   | 3.253                            |
| 60.891                                  | 3.262                            |
| 64.772                                  | 3.163                            |
| 67.772                                  | 6.21                             |
| 71.556                                  | 3.136                            |
| 75.387                                  | 3.183                            |
| 78.964                                  | 3.249                            |
| 82.726                                  | 3.115                            |
| 86.489                                  | 3.093                            |
| 90.282                                  | 3.303                            |
| Pour la livraison des camions à RTG2_B2 |                                  |
| Temps d'arrivée des camions(min)        | Temps d'Attente des camions(min) |
| 26.154                                  | 3.298                            |
| 29.611                                  | 3.329                            |
| 33.242                                  | 3.509                            |
| 36.716                                  | 3.35                             |
| 40.273                                  | 3.432                            |
| 45.599                                  | 5.201                            |
| 52.599                                  | 6.874                            |
| 56.393                                  | 3.403                            |
| 59.951                                  | 3.435                            |
| 63.595                                  | 3.514                            |
| 67.011                                  | 3.288                            |
| 70.429                                  | 3.289                            |
| 73.887                                  | 3.338                            |
| 77.228                                  | 3.22                             |
| 80.588                                  | 3.239                            |
| 84.06                                   | 3.344                            |
| 87.611                                  | 3.428                            |
| 90.979                                  | 3.239                            |
| 94.458                                  | 3.359                            |
| 104.458                                 | 9.881                            |

| Pour la livraison des camions à RTG1_A1 |                                  |
|---|----------------------------------|
| Temps d'arrivée des camions(min)        | Temps d'Attente des camions(min) |
| 38.629                                  | 3.698                            |
| 42.441                                  | 3.712                            |
| 46.237                                  | 3.693                            |
| 49.832                                  | 3.49                             |
| 53.352                                  | 3.416                            |
| 57.007                                  | 3.516                            |
| 60.726                                  | 3.62                             |
| 64.471                                  | 3.617                            |
| 68.244                                  | 3.646                            |
| 71.836                                  | 3.497                            |
| 75.504                                  | 3.565                            |
| 81.504                                  | 5.87                             |
| 87.504                                  | 5.905                            |
| 91.013                                  | 3.408                            |
| 94.711                                  | 3.57                             |
| 98.262                                  | 3.447                            |
| 102.087                                 | 3.697                            |
| 105.713                                 | 3.523                            |
| 109.36                                  | 3.547                            |

FIGURE 4.5 – Temps d'attente des camions

# Annexe 4

## Résultats de la simulation du scénario dans AnyLogic

| Temps d'attente des conteneurs CV du navire 01 dans le RTG 5_E1 |                    |       |       |
|---|--------------------|-------|-------|
| from  | to                 | PDF   | CDF   |
| 2   | 2.4                | 0.3   | 0.3   |
| 2.4   | 2.8                | 0.3   | 0.6   |
| 2.8   | 3.1999999999999997 | 0.1   | 0.7   |
|   |                    |       |       |
|   |                    |       |       |
| Temps d'attente des conteneurs CV du navire 02 dans le RTG 5_E1 |                    |       |       |
| from  | to                 | PDF   | CDF   |
| 2.2   | 2.4000000000000004 | 0.222 | 0.222 |
| 2.4000000000000004  | 2.6000000000000005 | 0     | 0.222 |
| 2.6000000000000005  | 2.8000000000000007 | 0.111 | 0.333 |
| 2.8000000000000007  | 3.0000000000000001 | 0     | 0.333 |
| 3.0000000000000001  | 3.2000000000000001 | 0     | 0.333 |
| 3.2000000000000001  | 3.4000000000000012 | 0     | 0.333 |
| 3.4000000000000012  | 3.6000000000000014 | 0     | 0.333 |
| 3.6000000000000014  | 3.8000000000000016 | 0     | 0.333 |
| 3.8000000000000016  | 4.0000000000000002 | 0.111 | 0.444 |
| 4.0000000000000002  | 4.2000000000000002 | 0.111 | 0.556 |
| 4.2000000000000002  | 4.4000000000000002 | 0.111 | 0.667 |
| 4.4000000000000002  | 4.6000000000000002 | 0     | 0.667 |
| 4.6000000000000002  | 4.8000000000000025 | 0.111 | 0.778 |
| 4.8000000000000025  | 5.0000000000000003 | 0     | 0.778 |
| 5.0000000000000003  | 5.2000000000000003 | 0.111 | 0.889 |
| 5.2000000000000003  | 5.4000000000000003 | 0.111 | 1     |

FIGURE 4.6 – Temps d’attente des conteneurs du circuit vert pour le déchargement par RTG

| Pour le stockage des Conteneurs à RTG1 A1 |                              | Pour le stockage des Conteneurs à RTG4 D1 |                              |
|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min) | Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min) |
| 83.954                                    | 2.174                        | 25.336                                    | 2.597                        |
| 105.771                                   | 2.242                        | 27.353                                    | 2.672                        |
| 148.557                                   | 2.226                        | 68.279                                    | 2.599                        |
| 154.661                                   | 2.202                        | 70.341                                    | 2.644                        |
| 166.823                                   | 2.185                        | 74.41                                     | 2.619                        |
| 200.431                                   | 2.102                        | 76.475                                    | 2.659                        |
| 226.127                                   | 2.272                        | 108.72                                    | 2.619                        |
| 266.223                                   | 2.152                        | 155.556                                   | 2.586                        |
|   |                              | 176.471                                   | 2.564                        |
|   |                              | 275.868                                   | 2.641                        |
|   |                              | 293.989                                   | 2.604                        |
| Pour le stockage des Conteneurs à RTG2 B2 |                              | Pour le stockage des Conteneurs à RTG3 C2 |                              |
| Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min) | Temps d'arrivée des ITV(min)              | Temps d'Attente des ITV(min) |
| 31.934                                    | 2.164                        |   |                              |
| 34.135                                    | 2.354                        |   |                              |
| 39.319                                    | 2.315                        |   |                              |
| 73.168                                    | 3.041                        | 33.108                                    | 2.504                        |
| 78.566                                    | 2.294                        | 110.215                                   | 2.303                        |
| 91.519                                    | 2.261                        | 126.06                                    | 2.291                        |
| 110.865                                   | 2.351                        | 142.753                                   | 2.441                        |
| 117.022                                   | 2.279                        | 196.579                                   | 2.286                        |
| 119.531                                   | 2.209                        | 203.196                                   | 2.375                        |
| 129.185                                   | 2.265                        | 215.731                                   | 2.439                        |
| 146.131                                   | 3.777                        | 227.248                                   | 2.484                        |
| 160.728                                   | 2.149                        | 247.33                                    | 2.378                        |
| 184.848                                   | 2.903                        | 260.572                                   | 2.391                        |
| 191.782                                   | 2.319                        | 262.642                                   | 4.242                        |
| 223.574                                   | 2.335                        |   |                              |
| 230.792                                   | 2.192                        |   |                              |
| 243.857                                   | 2.189                        |   |                              |
| 252.408                                   | 2.352                        |   |                              |
| 261.821                                   | 2.276                        |   |                              |
| 281.947                                   | 2.185                        |   |                              |
| 293.973                                   | 2.181                        |   |                              |

FIGURE 4.7 – Temps d’attente des conteneurs du non circuit vert pour le déchargement par RTG

| Pour le déchargement des Conteneurs pour l'inspection à RTG3 |                              |
|--|------------------------------|
| Temps d'arrivée des ITV(min)                                 | Temps d'Attente des ITV(min) |
| 17.822   | 3.477                        |
| 49.247   | 3.332                        |
| 52.792   | 3.427                        |
| 84.341   | 3.335                        |
| 88.217   | 3.527                        |
| 129.604  | 3.407                        |
| 133.117  | 3.405                        |
| 168.017  | 3.556                        |
| 174.234  | 3.467                        |
| 213.082  | 3.565                        |
| 218.292  | 4.665                        |
| 254.554  | 3.544                        |
| 257.975  | 3.304                        |
| 292.782  | 3.213                        |
| 296.3  | 3.329                        |
|  |                              |
|  |                              |
| Pour le déchargement des Conteneurs pour l'inspection à RTG2 |                              |
| Temps d'arrivée des ITV(min)                                 | Temps d'Attente des ITV(min) |
| 22.15  | 3.646                        |
| 26.456   | 3.627                        |
| 58.502   | 3.76                         |
| 70.842   | 3.633                        |
| 102.098  | 3.645                        |
| 106.511  | 3.769                        |
| 143.82   | 3.633                        |
| 148.82   | 4.325                        |
| 182.496  | 3.547                        |
| 203.983  | 3.557                        |
| 226.239  | 5.439                        |
| 255.056  | 4.644                        |
| 271.206  | 3.693                        |
| 297.017  | 3.545                        |

| Pour le déchargement des Conteneurs pour l'inspection à RTG1 |                              |
|--|------------------------------|
| Temps d'arrivée des ITV(min)                                 | Temps d'Attente des ITV(min) |
| 15.351   | 3.323                        |
| 18.905   | 3.452                        |
| 52.085   | 3.395                        |
| 55.939   | 3.451                        |
| 89.953   | 3.224                        |
| 102.004  | 3.277                        |
| 131.841  | 3.447                        |
| 144.431  | 3.327                        |
| 175.82   | 3.318                        |
| 183.254  | 3.186                        |
| 215.739  | 3.473                        |
| 231.903  | 3.271                        |
| 255.999  | 3.25                         |
| 272.119  | 3.505                        |
| 294.633  | 3.289                        |

FIGURE 4.8 – Temps d’attente des ITV pour que les RTG déchargent leurs conteneurs planifiés à l’inspection

| Pour la livraison des camions à RTG5_E2 |                                  |
|---|----------------------------------|
| Temps d'arrivée des camions(min)        | Temps d'Attente des camions(min) |
| 18.674                                  | 3.221                            |
| 23.674                                  | 4.871                            |
| 28.674                                  | 4.875                            |
| 32.026                                  | 3.228                            |
| 35.201                                  | 3.078                            |
| 38.555                                  | 3.229                            |
| 41.901                                  | 3.22                             |
| 48.901                                  | 6.895                            |
| 52.286                                  | 3.257                            |
| 57.286                                  | 4.871                            |
| 60.782                                  | 3.393                            |
| 64.101                                  | 3.213                            |
| 67.691                                  | 3.466                            |
| 74.691                                  | 6.901                            |
| 77.963                                  | 3.166                            |
| 81.134                                  | 3.064                            |
| 84.726                                  | 3.482                            |
| 88.198                                  | 3.365                            |
| 91.742                                  | 3.434                            |
| 94.989                                  | 3.118                            |
| 98.642                                  | 3.525                            |
| 102.18                                  | 3.413                            |
| 107.18                                  | 4.872                            |
| 110.665                                 | 3.358                            |
| 113.99                                  | 3.199                            |
| 117.591                                 | 3.475                            |
| 121.015                                 | 3.299                            |
| 126.015                                 | 4.881                            |
| 129.592                                 | 3.451                            |
| 133.105                                 | 3.389                            |
| 136.441                                 | 3.21                             |
| 139.746                                 | 3.181                            |
| 143.19                                  | 3.323                            |
| 146.637                                 | 3.322                            |
| 149.898                                 | 3.133                            |
| 154.898                                 | 4.874                            |
| 158.467                                 | 3.444                            |
| 163.467                                 | 4.877                            |

|         |       |
|---------|-------|
| 60.782  | 3.393 |
| 64.101  | 3.213 |
| 67.691  | 3.466 |
| 74.691  | 6.901 |
| 77.963  | 3.166 |
| 81.134  | 3.064 |
| 84.726  | 3.482 |
| 88.198  | 3.365 |
| 91.742  | 3.434 |
| 94.989  | 3.118 |
| 98.642  | 3.525 |
| 102.18  | 3.413 |
| 107.18  | 4.872 |
| 110.665 | 3.358 |
| 113.99  | 3.199 |
| 117.591 | 3.475 |
| 121.015 | 3.299 |
| 126.015 | 4.881 |
| 129.592 | 3.451 |
| 133.105 | 3.389 |
| 136.441 | 3.21  |
| 139.746 | 3.181 |
| 143.19  | 3.323 |
| 146.637 | 3.322 |
| 149.898 | 3.133 |
| 154.898 | 4.874 |
| 158.467 | 3.444 |
| 163.467 | 4.877 |
| 166.932 | 3.341 |
| 170.344 | 3.286 |
| 175.344 | 4.878 |
| 178.808 | 3.334 |
| 182.08  | 3.147 |
| 185.575 | 3.368 |
| 190.575 | 4.875 |
| 195.575 | 4.876 |
| 200.575 | 4.875 |
| 204.057 | 3.357 |
| 207.74  | 3.558 |
| 211.155 | 3.289 |

|         |       |
|---------|-------|
| 163.467 | 4.877 |
| 166.932 | 3.341 |
| 170.344 | 3.286 |
| 175.344 | 4.878 |
| 178.808 | 3.334 |
| 182.08  | 3.147 |
| 185.575 | 3.368 |
| 190.575 | 4.875 |
| 195.575 | 4.876 |
| 200.575 | 4.875 |
| 204.057 | 3.357 |
| 207.74  | 3.558 |
| 211.155 | 3.289 |
| 216.353 | 5.07  |
| 219.581 | 3.107 |
| 223.118 | 3.411 |
| 226.396 | 3.155 |
| 231.396 | 4.88  |
| 235.039 | 3.516 |
| 240.039 | 4.873 |
| 243.402 | 3.236 |
| 247.149 | 3.232 |

FIGURE 4.9 – Temps d'attente des camions