

Projet de Fin d'Études pour l'obtention du diplôme :

Ingénieur d'état en

## **Transformation Digitale Industrielle**

Sous le thème :

---

Étude de digitalisation et optimisation des processus logistiques : planification et suivi des chargements des navires

---

Réalisé par :

*ESSAKINE Ibrahim*

Encadré par :

*-Mme EL AZHARY Soumiya (OCP)*

*-Pr. EL ALAOUI Mohamed (ENSA Béni Mellal)*

Soutenu le 10/06/2024 devant les membres de jury :

Pr. Idris BAKHADACH	;	ENSA-BM	:	Président-Rapporteur
Pr. Soufiane BELHOUIDEG	;	ENSA-BM	:	Rapporteur
Pr. Mohamed ELALAOUI	;	ENSA-BM	:	Encadrant Pédagogique

Année universitaire : **2023-2024**

# Avant-propos

Ce rapport présente l'état d'avancement de mes travaux réalisés au sein de l'entreprise OCP de Jorf Lasfar entre le 18/04/2024 jusqu'à 18/06/2024, dans le contexte de mon stage PFE d'une durée de quatre mois.

Ce stage a été effectué dans le cadre de la validation de mon diplôme d'ingénieur d'état en transformation digitale industrielle. L'expérience, les relations et les interventions de mon maître de stage ont été essentielles pour orienter une étude dont le champ est très vaste.

Ce rapport a été encadré par mon encadrant pédagogique ***M. Mohamed ELALAOUI***, et mes encadrants techniques ***Mme. Soumiya EL-EZHERY*** et ***M. Jamal DAOU***.

J'ai choisi d'étudier un sujet d'actualité en intégrant les nouvelles technologies pour digitaliser les processus de la chaîne d'approvisionnement. Le choix du sujet a été motivé par l'augmentation mondiale des demandes d'engrais selon «World Bank Commodities»[1]. L'OCP de Jorf Lasfar, la plus grande plateforme mondiale de production d'engrais phosphatés, doit répondre à cette demande croissante. Pour y parvenir, l'entreprise souhaite intégrer la digitalisation afin d'optimiser les processus logistiques d'exportation, en particulier le suivi des opérations logistiques et la planification quotidienne.

Ce rapport de stage a pour objectif de mettre en lumière le potentiel et les avantages offerts par la digitalisation pour résoudre le problème de satisfaction des demandes, assurer la normalisation, la traçabilité, et simplifier les processus logistiques.

# Résumé

Ce rapport présente les résultats et les conclusions d'un stage de fin d'études effectué au sein de l'entreprise OCP de Jorf Lasfar, dans le cadre de ma formation d'ingénieur en transformation digitale industrielle. L'objectif principal de ce stage était d'étudier comment la digitalisation peut optimiser la planification des navires et le suivi des opérations logistiques afin d'améliorer l'efficacité. Le travail réalisé comprenait une analyse détaillée des processus logistiques actuels, l'identification des inefficacités et des lacunes, ainsi que la proposition de solutions innovantes. Les réalisations principales comprenaient la recommandation de solutions pour le contrôle du tirant d'eau, la conception d'une plateforme numérique pour le suivi en temps réel des opérations logistiques, et l'implémentation de modèles mathématiques pour améliorer la planification quotidienne. Malgré les défis rencontrés, notamment l'accès limité aux documents et les erreurs dans les données disponibles, ce stage a été une opportunité précieuse pour acquérir de nouvelles compétences et contribuer à l'optimisation des processus logistiques de l'entreprise.

## Mots clés :

***Transformation Digitale Industrielle, Industrie 4.0 , Planification logistique, Suivi en temps réel, Optimisation des opérations logistique, Platform Logistique, Contrôle de tirant d'eaux 4.0 , Logistique 4.0.***

# **Abstract**

This report presents the results and conclusions of a final-year internship conducted at OCP Jorf Lasfar as part of my industrial digital transformation engineering program. The main objective of this internship was to study how digitalization can optimize ship planning and logistics operations tracking to improve efficiency. The work involved a detailed analysis of current logistics processes, identification of inefficiencies and gaps, and the proposal of innovative solutions. Key achievements included recommending solutions for draft control, designing a digital platform for real-time logistics operations tracking, and implementing mathematical models to enhance daily planning. Despite challenges such as limited document access and errors in available data, this internship provided valuable opportunities to acquire new skills and contribute to optimizing the company's logistics processes.

## **Keywords :**

*Industrial Digital Transformation, Industry 4.0 , Logistics planning, Real-time tracking, Optimization of logistics operations, Logistics platform, Draught Survey 4.0, Logistics 4.0.*

# **ملخص**

يقدم هذا التقرير نتائج واستنتاجات تدريب السنة النهائية الذي تم إجراؤه في المكتب الشريف للفسفاط بالجرف الأصفر كجزء من برنامج هندسة التحول الرقمي الصناعي. كان الهدف الرئيسي من هذا التدريب هو دراسة كيفية تحسين التخطيط للسفن وتتبع عمليات الخدمات اللوجستية باستخدام التحول الرقمي لتحسين الكفاءة. تضمن العمل تحليلاً دقيقاً للعمليات اللوجستية الحالية، وتحديد نقاط القصور والفتحات، واقتراح حلول مبتكرة. تشمل الإنجازات الرئيسية التوصية بحلول للتحكم في المسودة، وتصميم منصة رقمية لتتبع العمليات اللوجستية في الوقت الحقيقي، وتطبيق نماذج رياضية لتعزيز التخطيط اليومي. بالرغم من التحديات مثل الوصول المحدود إلى الوثائق والأخطاء في البيانات المتاحة، قدم هذا التدريب فرصة قيمة لاكتساب مهارات جديدة ومساهمة في تحسين العمليات اللوجستية للشركة.

## **كلمات المفتاحية :**

التحول الرقمي الصناعي، الصناعة 4.0، تخطيط الخدمات اللوجستية، التتبع في الوقت الحقيقي، تحسين العمليات اللوجستية، منصة اللوجستيات، مسح عمق البحر 4.0، اللوجستيات 4.0.

# Dédicace

Avec tout respect et amour, je dédie ce modeste travail...

À mon cher père Moulay Hassan :

Toutes les lettres du monde ne pourraient suffire pour exprimer mes sentiments envers vous, mon grand amour. Mon attachement et ma plus haute considération pour votre personne. Je suis très fier d'être votre fils et de pouvoir enfin réaliser ce que vous avez tant espéré et attendu de moi. Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir. Vous avez été et serez toujours un exemple à suivre pour vos qualités humaines, votre persévérance et votre perfectionnisme.

À ma chère mère Fatima :

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'immense amour, la grande reconnaissance, la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts, les sacrifices, le dévouement sans faille, les conseils et les prières que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. Vous êtes et resterez toujours ma référence, la lumière qui illumine mon chemin.

À mes chers frères, mes chères sœurs :

Les mots ne suffisent guère pour vous exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.

À mon encadrante Mme. Soumiya EL-AZHARY :

Une dédicace spéciale avec mes profonds respects pour votre soutien et encouragement tout au long de mon stage, sans lesquels ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

À mes meilleures amies :

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver ici l'expression et le témoignage de mon amour, de mon attachement et de ma gratitude ressentie. Avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À tous mes professeurs :

Pour leur soutien et leurs conseils directs au cours de toutes mes études.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et que je ne trouve pas l'occasion de nommer.

Ibrahim Essakine

# Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Pr. Belaid BOUIKHALENE**, Directeur de l'ENSABM, pour son leadership inspirant ; à **Pr. Soufiane BELHOUIDEG**, Directeur **Adjoint** de l'ENSABM et **fondateur** de la filière Transformation Digitale Industrielle, pour sa disponibilité et ses conseils avisés ; ainsi qu'à **Pr. Hamid OUANAN**, **Coordonnateur** de la filière, pour son orientation précieuse et son engagement.

Je remercie chaleureusement **le directeur d'OCP Group** pour son accueil bienveillant, ainsi que toute l'équipe de l'entité de stockage et de distribution d'ammoniac à OCP Jorf Lasfar pour leur précieuse collaboration.

Une reconnaissance particulière va à **Mme. Soumiya EL-EZHERY**, **team coordinatrice** de l'entité 255, pour sa disponibilité et ses conseils avisés qui ont enrichi ce projet, et à **M. Jamal DAOU**, **responsable de la gestion des flux et de la chaîne d'approvisionnement**, pour ses remarques pertinentes, son partage d'informations précieuses et son engagement sans faille.

Ma gratitude s'étend également à **M. BOURZZAN**, **M. Yahya LAMINE** et toute l'équipe d'OCP Jorf Lasfar pour leur accompagnement, leur orientation et leur expertise, qui ont été des sources d'inspiration et de motivation tout au long de ce projet.

Un merci tout particulier à mon **encadrant pédagogique**, **M. Mohamed ELALAOUI**, pour son soutien constant, ses conseils éclairés et son encouragement. Enfin, je remercie mes **professeurs de l'École Nationale des Sciences Appliquées de Béni Mellal** pour leur enseignement de qualité et leur accompagnement.

Mes remerciements s'adressent également aux **membres du jury** : **Pr. Idris BAKHADACH**, **Président-Rapporteur**, pour ses précieux conseils et remarques constructives ; **Pr. Soufiane BELHOUIDEG**, **Rapporteur**, pour ses observations pertinentes et son aide tout au long de ce travail ; et **Pr. Mohamed ELALAOUI**, **Encadrant Pédagogique**, pour son soutien constant et ses conseils avisés.

# Table de matières

Avant-propos.....	I
Résumé.....	II
Abstract .....	III
ملخص.....	IV
Dédicace .....	V
Remerciements.....	VI
Liste des figures.....	XI
Liste des tableaux .....	XIII
Liste des annexes.....	XIV
Introduction générale .....	1
Chapitre I : Contexte général du projet.....	3
Introduction .....	3
I. Présentation de l'organisme d'accueil .....	3
1. Groupe OCP.....	3
2. Présentation du complexe industriel JORF.....	3
3. Description de l'entité JPH.....	3
II. Contexte et cadre générale du projet .....	5
1. OCP Production System .....	5
2. Périmètre du projet .....	5
3. Contexte pédagogique.....	6
4. Acteurs du projet.....	6
5. Charte du projet : .....	6
6. Démarche du projet.....	8
7. Problématique .....	9
8. Objectifs de l'étude :.....	10
9. Planification .....	11
III. Revue de littérature .....	11
Introduction.....	11
1. Qu'est-Ce Que La Logistique ?.....	12

2. Révolution Digitale : Industrie 4.0 .....	12
3. Digitalisation De La Logistique : Vers La Logistique 4.0 .....	12
4. Portails Intelligents.....	12
A. Port.....	12
B. New Génération : Smart Port .....	13
5. Étude Bibliographique.....	14
Conclusion.....	15
<b>Chapitre II : État &amp; Analyse d'existant .....</b>	<b>16</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>16</b>
I. Parcours de Distribution du Produit Final .....	16
1. Infrastructure Et Opérations Logistiques.....	16
A. Port.....	16
B. Stock.....	16
C. Usines De Production .....	18
D. Manutention .....	18
E. Produits Circulés .....	19
2. Planification Actuelle En Détail .....	20
A. Définition De Planification .....	20
B. Planification Quotidienne .....	20
C. Plan De Chargement Quotidienne.....	21
D. Outils De Planification .....	21
E. Suivie Des Opérations De Chargement .....	22
F. Inconvénients De L'outil De Planification Actuel .....	24
3. Analyse Des Arrêts .....	26
A. Analyse Des Causes Des Arrêts (PowerBI).....	26
B. Analyse ABC.....	28
a. Classification Abc (Fréquence).....	28
b. Classification Abc (Durées) .....	29

<b>Conclusion.....</b>	<b>30</b>
<b>Chapitre III : Planification et suivi des opérations logistiques .....</b>	<b>31</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>31</b>
<b>Section I : Focus sur le Contrôle de Tirant d'Eau .....</b>	<b>31</b>
<b>Justification Du Problème.....</b>	<b>31</b>
<b>1. Définition.....</b>	<b>31</b>
<b>2. Pourquoi Le Contrôle De Tirant d'Eau Est Essentiel ? .....</b>	<b>32</b>
<b>3. Objectif D'un Sondage De Tirant d'Eau Bien Conduit .....</b>	<b>32</b>
<b>4. Problèmes Actuels.....</b>	<b>32</b>
<b>5. Solutions Recommandées .....</b>	<b>32</b>
<b>6. Comparaisons Entre Les Solutions Disponible .....</b>	<b>35</b>
<b>Section II : Présentation de la Plateforme de Suivi de Chargement .....</b>	<b>36</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>36</b>
<b>2. Justification de solution .....</b>	<b>36</b>
<b>3. Planification du Projet Informatique.....</b>	<b>36</b>
<b>4. Analyse des besoins.....</b>	<b>37</b>
<b>5. Design de la Plateforme .....</b>	<b>38</b>
<b>A. Diagrammes UML .....</b>	<b>38</b>
<b>a. Diagramme De Cas d'Utilisation .....</b>	<b>38</b>
<b>b. Diagramme De Classe .....</b>	<b>40</b>
<b>c. Diagramme De Séquence.....</b>	<b>41</b>
<b>B. Interfaces Utilisateur .....</b>	<b>42</b>
<b>a. Barre De Navigation.....</b>	<b>42</b>
<b>b. Pages De Platform.....</b>	<b>44</b>
<b>6. Développement &amp; Déploiement .....</b>	<b>60</b>
<b>A. Sélection Des Technologies .....</b>	<b>60</b>
<b>B. Développement Des Modules Fonctionnels.....</b>	<b>60</b>
<b>C. Tests Et Validation .....</b>	<b>61</b>

<b>D. Déploiement.....</b>	<b>61</b>
<b>7. Étude Financière .....</b>	<b>62</b>
<b>A. Coûts De Développement.....</b>	<b>62</b>
<b>B. Coûts De Maintenance :.....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>63</b>
<b>Section III : Planification des opérations logistique .....</b>	<b>64</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>64</b>
<b>1. Critères De Classification Des Problèmes De Planification : .....</b>	<b>64</b>
<b>2. Modélisation Mathématique : .....</b>	<b>66</b>
<b>A. Notations.....</b>	<b>66</b>
<b>a. Paramètres .....</b>	<b>66</b>
<b>b. Variables Décisionnelles .....</b>	<b>66</b>
<b>B. Fonction Objectif .....</b>	<b>67</b>
<b>C. Contraintes Du Modèle De Planification Journalière : .....</b>	<b>67</b>
<b>1) Contraintes De Satisfaction De La Demande.....</b>	<b>67</b>
<b>2) Contraintes De Capacité.....</b>	<b>67</b>
<b>3) Contraintes De Débit De Transfert.....</b>	<b>68</b>
<b>4) Contraintes Des Arrêts Planifiés.....</b>	<b>68</b>
<b>5) Contraintes De Compatibilité.....</b>	<b>68</b>
<b>6) Contraintes De Disponibilité .....</b>	<b>69</b>
<b>7) Contraintes Logiques De Non-Changement Des Hangars De Stockage .....</b>	<b>69</b>
<b>8) Contraintes De Non-Négativité.....</b>	<b>69</b>
<b>D. Défi De La Complexité .....</b>	<b>70</b>
<b>E. Moteur D'optimisation (Gurobi).....</b>	<b>71</b>
<b>F. Validation Du Plan De Chargement Optimal Par Simulation.....</b>	<b>71</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>72</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>73</b>
<b>Bibliographies .....</b>	<b>71</b>

# Liste des figures

<b>Figure 1 : Diagramme des Entrées et Sorties du Complexe de Jorf Lasfar .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 2 : Schéma résume le processus depuis la commande jusqu'à la livraison .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 3 : Diagramme GANTT de planification du PFE.....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 4 : Architecture de port intelligent.....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 5 : Graph d'évolution de nombre des publications.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 6 : Graph des technologies 4.0 qui sont utilisées dans digitalisation.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 7 : Port d'exportation et importation d'OCP de Jorf Lasfar.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 8 : Circuit de la zone de stockage des engrais .....</b>	<b>17</b>
<b>Figure 9 : Arche dans le stock HE03 .....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 10 : Interface de surveillances du gratteur .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 11 : Gratteur déstocké les engrais .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 12: Fichier excel de planification actuelle .....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 13 : Plan de chargement des Quai 1 et 2.....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 14 : Représentation d'un navire dans l'outil de planification.....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 15 : Outil de suivi de chargement des navires dans le port .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 16 : Comparaison de la quantité chargée et la prévision .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 17 : Application de suivi des machines et équipements de la chaîne d'exportation.....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 18 : Exemples des erreurs et anomalies de la liste des arrêts 2023 .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 19 : Feuille (par jour) dans l'outil de suivi de chargement .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 20 : Tableau de bord (réalisé par PowerBI) des arrêts de l'année 2023 .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure 21 : Graph de classification des causes des arrêts par Méthode ABC .....</b>	<b>29</b>
<b>Figure 22: Graph de classification des causes des arrêts par Méthode ABC .....</b>	<b>30</b>
<b>Figure 23 : Bulkscan LMS111 une solution réalisé par l'entreprise SICK sensor intelligence....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 24 : Drones autonomes visualiser le niveau d'eau d'un navire.....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 25 : Agent utilise l'outil de mesure des tirants d'eau de SGS France .....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 26 : Diagramme de Cas d'Utilisation .....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 27 : Diagramme de Classe .....</b>	<b>40</b>
<b>Figure 28 : Diagramme de séquence .....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 29 : Page de login du platform de suivi .....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 30 : Section de suivi des opérations des navires par Quai .....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 31 : Niveaux des stocks (par stock) .....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 32 : Quantité exportée vs la prévision .....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 33 : Prévision journalière vs la quantité chargée ce jour jusqu'à maintenant (par Quai)</b>	<b>47</b>
<b>Figure 34 : Arrêts totaux (par Quai).....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 35 : Carte des demandes de navire OLDENDORF .....</b>	<b>47</b>

<b>Figure 36 : Page d'accueil de platform de suivi .....</b>	<b>48</b>
<b>Figure 37 : Tableau des demandes des cleints .....</b>	<b>49</b>
<b>Figure 38 : Section de plan de chargement de demande sélectionné .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 39 : Graph des quantités des qualités demandées vs disponible .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 40 : Graph de statue des demandes .....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 41 : Page des demandes de la platform de suivi.....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 42 : Détails d'arrêt sélectionné .....</b>	<b>54</b>
<b>Figure 43 : Histogramme des arrêts par semaine.....</b>	<b>54</b>
<b>Figure 44 : Page des arrêts de la platform de suivi .....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 45 : Page Des Navires de la platform de suivi.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 46 : Page de Planification.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure 47 : Schéma de la chaîne d'approvisionnement .....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 48 : Organigramme du groupe.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure 49 : Cartographie des usines et mines du groupe OCP au Maroc.....</b>	<b>76</b>
<b>Figure 50 : Blocs de l'OPC.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure 51: Architecture du port intelligent .....</b>	<b>87</b>
<b>Figure 53 : Types de navires de transport de marchandises.....</b>	<b>92</b>
<b>Figure 54 : Navire vrac avec 9 cales de chargement.....</b>	<b>92</b>
<b>Figure 55 : Agent effectuant un sondage de tirant d'eau .....</b>	<b>94</b>
<b>Figure 56 : Prélèvement d'un échantillon de ballast .....</b>	<b>95</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 : Charte de projet.....</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 2 : Classification des causes des arrêts par fréquence .....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 3 : Classification des causes des arrêts par durée .....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau 4 : Comparaisons entre les solutions disponible.....</b>	<b>35</b>
<b>Tableau 5 : Compatibilité entre les stocks et les Qualités d'engrais.....</b>	<b>65</b>
<b>Tableau 6 : Compatibilité entre les portiques et les stocks .....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau 7 : Fiche technique de l'OCP.....</b>	<b>74</b>
<b>Tableau 8 : Technologies de digitalisation logistique .....</b>	<b>84</b>
<b>Tableau 9 : Technologies de digitalisation logistique.....</b>	<b>88</b>

## **Liste des annexes**

<b>ANNEXE I : Présentation du groupe OCP.....</b>	<b>73</b>
<b>ANNEXE II : Présentation du complexe industriel Jorf Lasfar.....</b>	<b>78</b>
<b>ANNEXE III : OCP production system.....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXE IV : Port Intelligent.....</b>	<b>82</b>
<b>ANNEXE V : Opérations portuaires.....</b>	<b>91</b>
<b>ANNEXE VI : Le sondage de tirant d'eau.....</b>	<b>94</b>

# Introduction générale

À l'heure de la course à la performance et de l'innovation continue, les entreprises comme **OCP**, leader mondial de la **production de phosphate**, se trouvent confrontées à des impératifs logistiques cruciaux. Avec la population mondiale en constante **croissance**, la **demande en engrais** agricoles ne cesse d'augmenter, rendant **l'optimisation** des processus **logistiques** plus vitale que jamais. Au cœur de cette dynamique, notre travail se concentrera sur l'exportation d'engrais, où l'optimisation des processus devient un levier stratégique incontournable pour assurer la compétitivité et la pérennité dans un marché en perpétuelle évolution.

Dans la chaîne d'approvisionnement moderne, les processus logistiques jouent un rôle crucial. Ils sont responsables de la gestion efficace des flux de produits, depuis leur fabrication jusqu'à leur livraison finale aux clients. Des processus logistiques optimisés garantissent une circulation fluide des marchandises, **réduisent les temps** d'attente et minimisent les risques de ruptures de stock. Ainsi, ils contribuent directement à la satisfaction client et à la **rentabilité globale** de l'entreprise.

**La planification** est un élément **essentiel** des processus logistiques. Elle permet de coordonner les différentes activités de la chaîne d'approvisionnement, de prévoir les besoins en ressources et d'optimiser les opérations de manière stratégique. Cependant, les méthodes traditionnelles de planification peuvent être limitées par leur **manque de flexibilité** et de **réactivité** aux changements du marché. C'est pourquoi la **digitalisation** de la planification est devenue une nécessité, permettant aux entreprises d'adapter rapidement leurs stratégies en fonction des conditions changeantes.

De même, **le suivi des opérations logistiques** revêt une importance capitale. Il permet de surveiller en **temps réel** le déroulement des activités, d'identifier les éventuels goulots d'étranglement et de prendre des mesures **correctives rapidement**. La **digitalisation** de ce processus offre une **visibilité** accrue sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, permettant aux entreprises de **déetecter** les **problèmes** potentiels avant qu'ils ne deviennent critiques.

Dans ce contexte d'amélioration du processus de planification et de suivi des opérations logistiques, il est essentiel **d'augmenter** les **indicateurs** de performance tels que le **taux**

**d'occupation** des quais de chargement et la **quantité chargée** par heure. Ces indicateurs permettent d'évaluer l'efficacité des opérations, d'identifier les domaines nécessitant des améliorations et d'optimiser ainsi les performances globales de l'entreprise. En se concentrant sur ces mesures clés, nous pourrons mieux répondre à la demande croissante en engrais tout en renforçant la compétitivité d'OCP sur le marché mondial.

Dans cette dynamique d'amélioration continue des processus de planification et de suivi des opérations logistiques, notre approche **méthodologique** a été rigoureusement guidée par le cycle **DMAIC**.

- **Le premier chapitre** de notre **démarche** a consisté à présenter le projet dans sa globalité et à **planifier** en détail l'élaboration de **cette étude**.
- **Le deuxième chapitre** a été dédié à une **analyse minutieuse de l'existant**, mettant en lumière les **défis** et les **opportunités** d'optimisation.
- **Le troisième chapitre** a représenté le cœur de notre travail, divisé en trois sections :
  - **La première section** se concentre sur la recommandation des **solutions aux problèmes** des processus de suivi identifiés dans le deuxième chapitre.
  - **La deuxième section** porte sur la **conception d'une plateforme** de suivi des opérations logistiques, offrant une traçabilité complète des interventions et permettant un suivi précis des indicateurs de performance clés.
  - **La troisième section** concerne la **modélisation mathématique** de la **planification** pour l'optimiser.

# Chapitre I : Contexte général du projet

## Introduction

Ce chapitre initial vise à introduire le groupe OCP, notamment le site de Jorf Lasfar, en tant qu'entreprise d'accueil, tout en définissant le contexte global du projet. Il comprend l'identification de la problématique, sa justification, les objectifs à atteindre, ainsi qu'un aperçu de l'approche méthodologique adoptée pour sa résolution.

### I. Présentation de l'organisme d'accueil

#### 1. Groupe OCP

Dans le secteur de l'industrie des phosphates et de leurs dérivés, l'Office Chérifien de Phosphates (OCP) se distingue en tant que leader mondial de l'exportation de phosphate brut et d'acide phosphorique. Il figure parmi les principaux exportateurs d'engrais phosphatés, exerçant ses activités sur les cinq continents et couvrant l'ensemble de la chaîne de production, de l'extraction à la commercialisation. Cette position prééminente de l'OCP découle d'une expertise accumulée sur plus d'un siècle de travail, ponctuée par de nombreuses étapes cruciales. Une présentation détaillée de l'historique du groupe OCP, de sa structure organisationnelle, ainsi que de ses sites de production est disponible dans [l'ANNEXE 1](#).[2]

#### 2. Présentation du complexe industriel JORF

Le complexe des industries chimiques de Jorf Lasfar a été mis en exploitation en 1986. Il est situé à 24 km au sud de la ville d'El Jadida avec une superficie globale de 1 835 ha. Le site de Jorf Lasfar regroupe les industries chimiques de valorisation de minéraux de phosphates et de production des engrains phosphatés et /ou azotés. [2]

Les produits fabriqués à Jorf Lasfar sont :

- ✚ *L'acide phosphorique ordinaire qualité engrais ;*
- ✚ *L'acide phosphorique purifié qualité alimentaire ;*
- ✚ *Les engrais.*

La présentation détaillée du complexe est située dans [L'ANNEXE 2](#).

#### 3. Description de l'entité JPH

Le complexe de Jorf Lasfar, le plus grand complexe de transformation d'engrais au monde, a joué un rôle clé dans le doublement de la capacité de valorisation du phosphate par le

groupe OCP. Ce site regroupe des industries spécialisées dans le traitement des minerais de phosphates ainsi que dans la fabrication d'engrais phosphatés et azotés. Deux principales catégories de produits y sont produites et commercialisées : l'acide phosphorique, disponible en formes marchande et purifiée, et divers types d'engrais. Ces opérations sont principalement gérées par la filiale Maroc Phosphore III-IV, avec le soutien de plusieurs autres sites opérant sous forme de joint-ventures avec des partenaires internationaux.

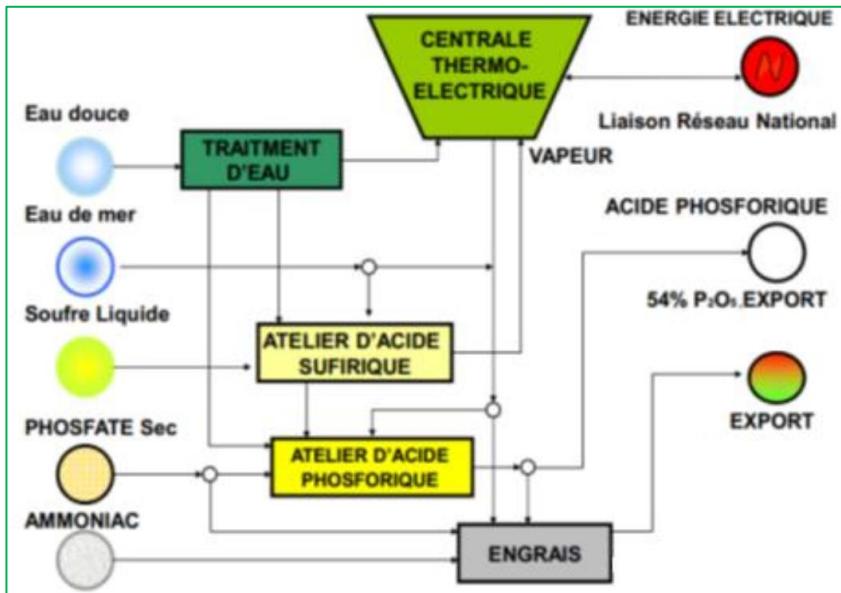
Les activités de Maroc Phosphore III-IV, qui constituent le cœur de nos études, comprennent la production et l'expédition d'engrais. Ce site transforme le phosphate, principalement extrait du site minier de Khouribga, en acide sulfurique, acide phosphorique et en engrais finaux. Les principales installations sur le site incluent :

- ⊕ **Des unités de production** : une pour l'acide sulfurique, une pour l'acide phosphorique, et une pour les engrais, toutes désignées internement par l'OCP comme des ateliers.
- ⊕ **Des zones de stockage** pour les matières premières, les produits intermédiaires et les produits finis, incluant des bacs et des hangars.
- ⊕ **Des installations portuaires** dédiées au **déchargement** des matières premières importées et au **chargement** des produits finis pour l'export.

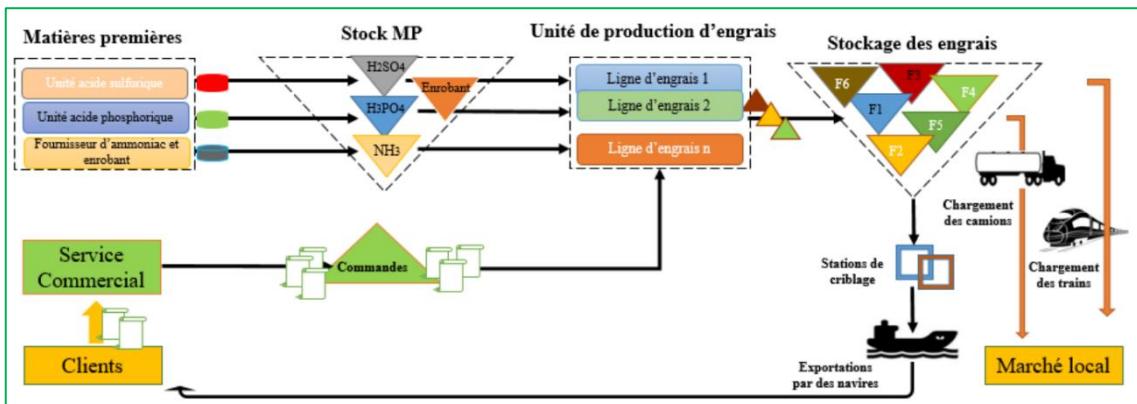
La production d'engrais est l'étape finale de la chaîne logistique de Maroc Phosphore III-IV et se divise en trois grandes étapes :

1. **La production d'acide sulfurique**, utilisant du soufre importé ou produit sur place, qui est ensuite stocké dans des bacs intermédiaires pour servir dans les étapes suivantes.
2. **La production d'acide phosphorique**, alimentée par l'acide sulfurique et un stock de phosphate, avec des concentrations finales de 29% et 54% en pentoxyde de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Ces concentrations sont aussi stockées temporairement.
3. **La production d'engrais**, qui s'appuie sur les acides sulfurique et phosphorique produits précédemment, ajoutant à cela l'ammoniac et d'autres matières premières importées. Les engrais produits sont stockés dans des zones dédiées ou expédiés via le port ou par transport terrestre pour la vente locale ou l'exportation.

Les liens entre les trois unités sont démontrés dans [la Figure 1](#). De plus, [la Figure 2](#) offre une vue détaillée de l'unité de production d'engrais.



*Figure 1 : Diagramme des Entrées et Sorties du Complexe de Jorf Lasfar*



*Figure 2 : Schéma résume le processus depuis la commande jusqu'à la livraison*

## II. Contexte et cadre générale du projet

### 1. OCP Production System

Dans le but d'intégrer les enjeux sociaux, environnementaux et économiques à tous les niveaux de son activité, le groupe OCP a fait le choix de mettre en place un système complet désigné par, OCP Production System, destiné à améliorer la productivité et les performances de l'entreprise. La présentation détaillée de ce système se trouve dans [L'ANNEXE 3](#).

### 2. Périmètre du projet

Le groupe OCP, comme étant le leader mondial de la production de phosphate, a lancé en 2012 la mise en place d'OPS (OCP Production System) qui a pour objectif d'améliorer la productivité des opérations industrielles de valorisation de phosphate, d'atteindre l'excellence opérationnelle et d'amener le système de production à un niveau de performance mondial.

Pour répondre à ces objectifs, le service d'exportation des engrais nous a chargés de l'amélioration des performances de la chaîne d'approvisionnement en exportation des engrais. Notre mission consiste à optimiser les processus actuels liés à l'exportation et à trouver des solutions digitales en utilisant des technologies innovantes afin d'augmenter la capacité de chargement des engrais dans les navires. Cela implique une analyse approfondie de la situation actuelle pour définir les objectifs du projet, suivie d'une étude de faisabilité et de l'élaboration d'une conception conceptuelle des solutions proposées.

### 3. Contexte pédagogique

Dans le cadre des projets de fin d'études, notre projet est réalisé en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur d'état de l'École Nationale des Sciences Appliquée de Beni Mellal. Au cours de ce projet, nous devons faire le lien entre nos connaissances théoriques et le milieu industriel afin de résoudre des problèmes réels en trouvant des solutions pratiques, ce qui nous permettra de développer nos cercles d'expériences et nos compétences de communication et de recherche.

### 4. Acteurs du projet

- ❖ **Maitre d'ouvrage** : responsable de la gestion des flux et de la chaîne d'approvisionnement à **OCP Jorf Lasfar**, représenté par :
  - **M. DAOU Jamal** : Responsable de la gestion des flux et de la chaîne d'approvisionnement.
- ❖ **Maitre d'œuvre** : Le maître d'œuvre est l'École Nationale des Sciences Appliquées de Beni Mellal, représentée par :
  - **ESSAKINE Ibrahim** : élève ingénieur en Transformation Digitale Industrielle.

### 5. Charte du projet :

Le tableau suivant résume le cadre de notre projet de fin d'études :

Tableau 1 : Charte de projet

Le projet	<b>Intitulé</b>	«Étude de digitalisation et optimisation des processus logistiques : planification et suivi des chargements des navires»
	<b>Caractéristiques essentielles</b>	<b>Projet de fin d'études.</b>
	<b>Organisme d'accueil</b>	<b>OCP Jorf Lasfar</b>
Objectifs et contraintes	<b>Objectifs techniques</b>	<b>Analyser</b> et <b>identifier</b> les inefficacités dans les processus de planification des navires et de suivi des opérations logistiques. <b>Proposer</b> et <b>concevoir</b> des <b>solutions</b> numériques innovantes pour optimiser ces processus et améliorer l'efficacité globale de la chaîne logistique. <b>Réduire les temps</b> d'arrêt, augmenter la capacité de chargement des navires et améliorer la précision des prévisions logistiques grâce à la digitalisation et à l'automatisation des processus.
	<b>Contraintes</b>	Terminer le projet dans le délai fixé qui est de 19/02/2024 au 19/06/2024.
Les techniques	<b>Techniques de base</b>	Outils et démarches DMAIC, Méthode ABC. Outils de la gestion de projet.
	<b>Difficultés principales</b>	Les <b>données</b> ne sont pas centralisées. Le <b>manque de normalisation</b> des données ajoute une couche de difficulté supplémentaire lors de l'analyse.
Le planning	<b>Date du début et de la fin</b>	Le <b>01/02/2024</b> au <b>31/05/2024</b>
	<b>Les grandes phases du planning</b>	<b>Réaliser</b> une cartographie explicative de la chaîne d'approvisionnement.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>Diagnostiquer et analyser</b> la situation actuelle des processus liés aux activités d'exportation.</li> <li>✚ Trouver des <b>solutions</b> pratiques et proposer un plan d'actions.</li> </ul>
<b>Les moyens</b>	<b>✚ Matériels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Le processus actuel de planification.</li> <li>✚ La liste des arrêts de la chaîne d'approvisionnement des engrais pour 2022 et 2023.</li> <li>✚ Les logiciels utilisés dans le processus de planification et de suivi des opérations logistiques.</li> </ul>
	<b>✚ Logiciels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>Excel (VBA), Python, GANTT Project, Figma.</b></li> </ul>
<b>Management du projet</b>	<b>✚ Équipe du projet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>ESSAKINE Ibrahim</b> : élève ingénieur, en Transformation Digitale Industrielle.</li> </ul>
	<b>✚ Responsable d'équipe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>M. DAOU Jamal</b> : <b>Responsable de la gestion des flux et de la chaîne d'approvisionnement.</b></li> </ul>
<b>Communication</b>	<b>✚ Interne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>Service exportation</b> : M. DAOU Jamal.</li> <li>✚ <b>Service Maintenance</b> : Mme ELAZHARY Soumiya, M. Yahya LAMINE.</li> </ul>
	<b>✚ Externe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✚ <b>Encadrant pédagogique</b> : M. ELALAOUI Mohamed.</li> </ul>

## 6. Démarche du projet

Pour assurer la bonne maîtrise de ce projet, nous avons opté pour la méthode **DMAIC** (**Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler**), une approche de qualité structurée couramment utilisée dans les projets d'amélioration continue visant à optimiser les processus logistiques. Cette méthodologie présente un intérêt particulier pour la digitalisation des processus de planification, car elle facilite la prise de décision et vise à réduire les temps d'arrêt. C'est pourquoi nous avons choisi d'adopter la méthode DMAIC pour la réalisation de la première mission de ce projet. **La démarche DMAIC** se décompose en cinq étapes principales :

- ❖ **Définir** : Cette étape consiste à **définir** clairement les **objectifs** du projet, à **identifier** les parties prenantes concernées et à établir une compréhension commune des enjeux. Pour ce projet, il s'agit de définir les objectifs spécifiques liés à l'optimisation des processus de planification des navires et du suivi des opérations logistiques, ainsi que les **indicateurs** de performance clés associés. Dans le cadre de cette étape, une **cartographie** des **flux de logistique** sera réalisée pour mieux comprendre les processus liés à l'exportation des engrais et identifier les **opportunités** d'amélioration.
- ❖ **Mesurer** : Durant cette étape, des données pertinentes seront **collectées** pour évaluer les **performances actuelles** et identifier les domaines nécessitant des améliorations. Cela inclura la compilation d'une **liste des arrêts** survenus en 2023 dans la chaîne d'approvisionnement de l'exportation des engrais, ainsi que les **détails des processus** de planification et de suivi actuels. De plus, les informations sur les **logiciels utilisés** pour la planification et le suivi seront également recueillies. L'objectif est d'obtenir une image claire et détaillée de la situation actuelle afin de mieux cibler les efforts d'amélioration.
- ❖ **Analyser** : Après avoir collecté et **normalisé** les données à l'aide de **PowerBI**, la prochaine étape consiste à les **analyser** en profondeur pour **identifier** les **causes** sous-jacentes des problèmes et des inefficacités. Une **analyse ABC** sera réalisée pour identifier les principales causes des arrêts dans la chaîne d'approvisionnement de l'exportation des engrais. Cette analyse aidera à hiérarchiser les problèmes et à se concentrer sur les domaines les plus **critiques** nécessitant des améliorations.
- ❖ **Innover** : Sur la base des **résultats de l'analyse**, cette étape vise à **proposer** des **solutions** innovantes pour améliorer les processus logistiques. Nous chercherons à concevoir des solutions **numériques** qui permettront d'optimiser la **planification** des navires, de **réduire** les temps **d'arrêt** et d'augmenter l'efficacité globale de la chaîne logistique.
- ❖ **Contrôler** : Enfin, une fois que les solutions ont été mises en œuvre, il est essentiel de surveiller leur performance et de mettre en place des mécanismes de contrôle pour garantir leur efficacité à long terme. Nous établirons des processus de suivi et d'évaluation continue pour s'assurer que les objectifs du projet sont atteints et maintenus dans le temps.

## 7. Problématique

Le principal défi réside dans l'optimisation de l'efficacité du processus d'exportation d'engrais pour répondre à une demande croissante tout en garantissant des livraisons en temps

voulu et en minimisant les coûts opérationnels. Cela nécessite une rationalisation des divers aspects logistiques, notamment le chargement et le déchargement des navires, la gestion du stockage et la coordination des transports. De plus, la nécessité de s'adapter aux conditions fluctuantes du marché et de respecter des réglementations environnementales strictes complique davantage la tâche. Par conséquent, trouver des solutions numériques innovantes pour améliorer la planification, le suivi et l'exécution des opérations d'exportation est essentiel. Cela implique de tirer parti de technologies telles que l'IA, l'IoT et l'analyse de données pour optimiser l'utilisation des ressources, améliorer la prise de décision et assurer une intégration transparente dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. En abordant ces défis, le projet vise à améliorer l'efficacité et la compétitivité globales de l'exportation d'engrais tout en maximisant la rentabilité et la durabilité.

## 8. Objectifs de l'étude :

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- ⊕ **Réduire la durée des arrêts** pour optimiser l'efficacité opérationnelle de la chaîne logistique.
- ⊕ **Identifier les problèmes** spécifiques liés au service d'exportation des navires afin de cibler les domaines à améliorer.
- ⊕ **Proposer des solutions** potentielles pour résoudre les problèmes identifiés et améliorer les processus logistiques.
- ⊕ **Concevoir des solutions innovantes** et adaptées pour répondre aux besoins spécifiques de l'exportation des navires.
- ⊕ **Assurer la traçabilité des données** tout au long de la chaîne logistique pour garantir une visibilité complète des opérations.
- ⊕ **Centraliser les données** pour faciliter l'accès et la gestion des informations logistiques, améliorant ainsi la prise de décision.
- ⊕ **Normaliser les données actuelles et futures** pour garantir la cohérence et la fiabilité des informations utilisées dans le processus logistique.
- ⊕ Mettre en place un système de **collecte** et de traitement des données **en temps réel** pour permettre une réactivité accrue et une prise de décision basée sur des informations actualisées.

## 9. Planification

Le projet de fin d'étude effectué au sein de l'OCP Jorf Lasfar s'est étalé sur la période du début de Février à la fin de Mai de l'année 2024. Afin de planifier, piloter, bien gérer les ressources, analyser et communiquer les données des projets, estimer le temps nécessaire pour accomplir chaque tâche et respecter le délai prédéterminé à la livraison du travail finale, le logiciel 'GANTT PROJECT' a été utilisé pour élaborer un plan d'actions prévisionnel à travers le diagramme de GANTT prévisionnel suivant :

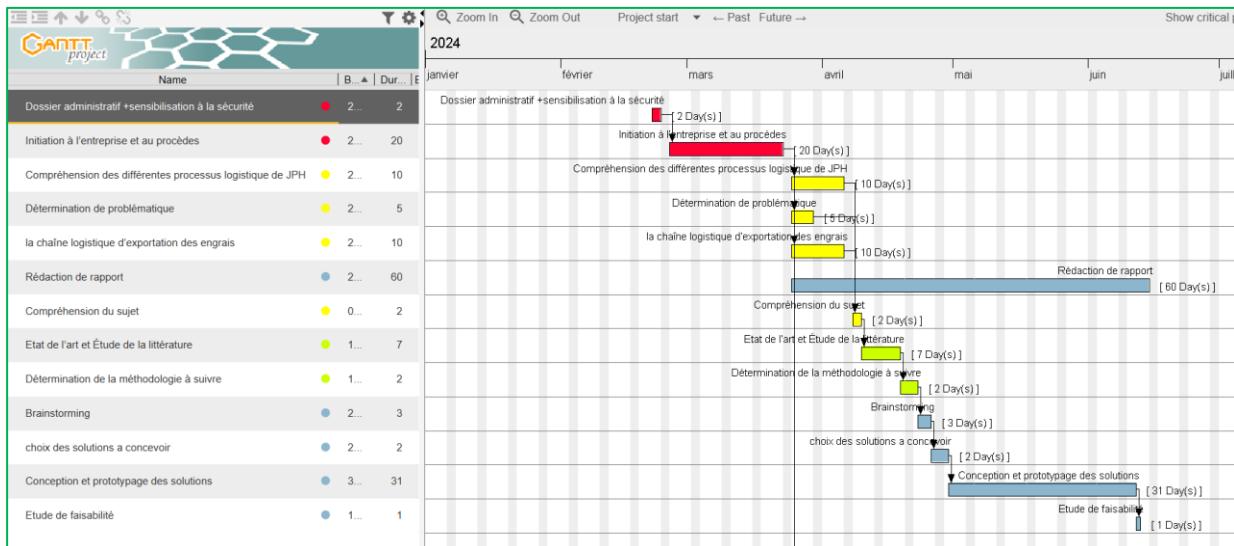


Figure 3 : Diagramme GANTT de planification du PFE

## III. Revue de littérature

### Introduction

À l'ère de la quatrième révolution industrielle, les ports doivent s'adapter à la numérisation et à l'automatisation, évoluant vers des "smart ports" intégrant des technologies avancées pour améliorer l'efficacité, la sécurité environnementale et la compétitivité économique. Cette revue de littérature explore le concept des ports intelligents et le rôle de la révolution industrielle dans cette transformation, en se concentrant sur la numérisation des processus logistiques (logistique 4.0). Nous analyserons les défis, opportunités, et des tendances clés des ports intelligents et les implications de la numérisation pour l'avenir de la logistique portuaire, fournissant des insights précieux pour les praticiens, chercheurs et des décideurs.

## **1. Qu'est-Ce Que La Logistique ?**

Le terme "logistique" est apparu sous l'empereur byzantin Leontos VI (886-911) et a été utilisé plus tard par le général suisse H. Jomini comme science du mouvement, de la fourniture et de l'hébergement des soldats. Au XXe siècle, la logistique a été appliquée à l'économie, gérant les flux de matières et d'information nécessaires à la fabrication et à la circulation des biens. La logistique vise à maximiser l'efficacité de la production aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel.[3]

## **2. Révolution Digitale : Industrie 4.0**

La digitalisation transforme les entreprises, créant de nouveaux modèles commerciaux et augmentant la valeur ajoutée pour les clients grâce aux technologies intelligentes. Les technologies digitales telles que la réalité augmentée, l'IoT, l'intelligence artificielle, et le cloud computing changent les processus commerciaux, offrant un avantage concurrentiel. La digitalisation permet aux entreprises de traiter de grandes quantités de données, personnalisant les processus de vente et de conception de produits et services.[3]

## **3. Digitalisation De La Logistique : Vers La Logistique 4.0**

La logistique 4.0 intègre des technologies numériques pour transformer la gestion des chaînes d'approvisionnement et les opérations logistiques. En adoptant l'IoT, l'intelligence artificielle et l'analyse des données, les ports peuvent optimiser et automatiser leurs opérations, augmentant ainsi l'efficacité et réduisant les coûts. La logistique 4.0 prépare les ports à devenir plus agiles, connectés et réactifs.[4]

## **4. Portails Intelligents**

### **A. Port**

Les ports jouent un rôle crucial dans l'industrie maritime, reliant le transport maritime au transport terrestre. Stopford définit un port comme "*une zone géographique où les navires accostent pour charger et décharger des marchandises, généralement dans une zone d'eau profonde comme une baie ou l'embouchure d'un fleuve.*" [5]

Les opérations portuaires sont essentielles pour comprendre notre problématique. Pour plus d'informations, consultez l'[ANNEXE 5](#).

## B. New Génération : Smart Port

La quatrième révolution industrielle a conduit les ports à adopter le concept de Port intelligent. Il est essentiel de clarifier ce concept et de comprendre son impact global. Le **concept de Smart Port**, apparu en 2010, peut être défini comme **l'utilisation de technologies intelligentes et vertes pour accroître l'efficacité d'un port**, améliorer ses performances, favoriser l'innovation, renforcer sa **flexibilité**, garantir sa **sécurité** environnementale et accroître sa compétitivité économique.

Un port intelligent nécessite une infrastructure et des technologies intelligentes, ainsi qu'un personnel formé, pour atteindre les objectifs de durabilité et optimiser les opérations portuaires.

Le concept de port intelligent repose sur **les Systèmes Cyber-Physiques** (CPS), intégrant trois composantes :

1. **Technologies de calcul** : Extraire, traiter, stocker et analyser des données.
2. **Technologies de communication** : Transférer une grande quantité de données en temps réel avec des normes de sécurité élevées.
3. **Technologies de contrôle** : Surveiller et effectuer des contrôles correctifs sur l'équipement.

Ces technologies permettent de surveiller les entités physiques via une architecture multidimensionnelle, incluant des robots en réseau, des véhicules guidés automatiques (AGV), des **Aquarone** contrôlés à distance, des **capteurs** et des actionneurs. La miniaturisation des capteurs et actionneurs fait partie de l'Internet des objets (IoT), facilitant l'interconnexion et le contrôle des opérations portuaires sans intervention humaine directe. Plus d'informations sur ces technologies sont disponibles dans l'[ANNEXE 4](#).

Dans un environnement de port intelligent, les composants **cybernétiques et physiques** sont **constamment coordonnés** et intégrés par des ordinateurs embarqués et des applications logicielles en réseau. Ces applications incluent :

- **ERP** (Enterprise Resource Planning) : Intègre et synchronise toutes les unités fonctionnelles de l'entreprise.
- **TOS** (Terminal Operating System) : Améliore l'efficacité opérationnelle des terminaux en suivant, guidant et documentant chaque activité en temps réel.

- **SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition) : Contrôle les actifs dispersés et les processus industriels, surveille, collecte et traite des données en temps réel, interagit avec les capteurs et enregistre les événements pour améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations portuaires.

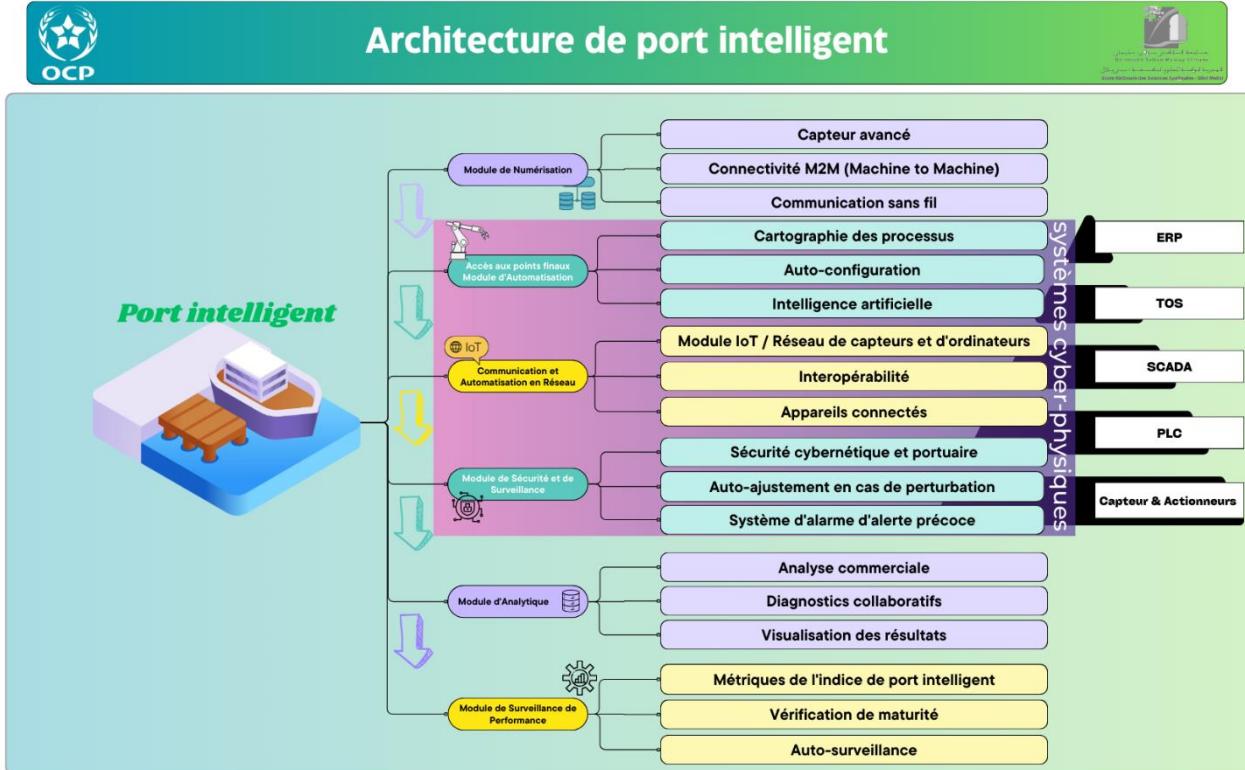


Figure 4 : Architecture de port intelligent

## 5. Étude Bibliographique

D'après le platform Scopus, nous présentons une analyse du nombre de publications sur l'optimisation des processus logistiques des navires d'exportation de 2011 à 2023, avec **5942 publications**. Les technologies de **l'industrie 4.0** comme la simulation, l'intelligence artificielle et l'analyse des données sont dominantes dans ce domaine. Les publications récentes abordent des modèles pour améliorer les opérations portuaires, des systèmes de contrôle automatique et des outils numériques pour la logistique maritime.

La figure 5 illustre l'évolution du **nombre de publications** sur le sujet de l'optimisation des processus logistiques d'exportation au cours de cette période.

En sélectionnant l'année **2011** comme point de départ, cette analyse capture l'essor de la recherche dans ce domaine depuis le **début de la quatrième révolution industrielle**.

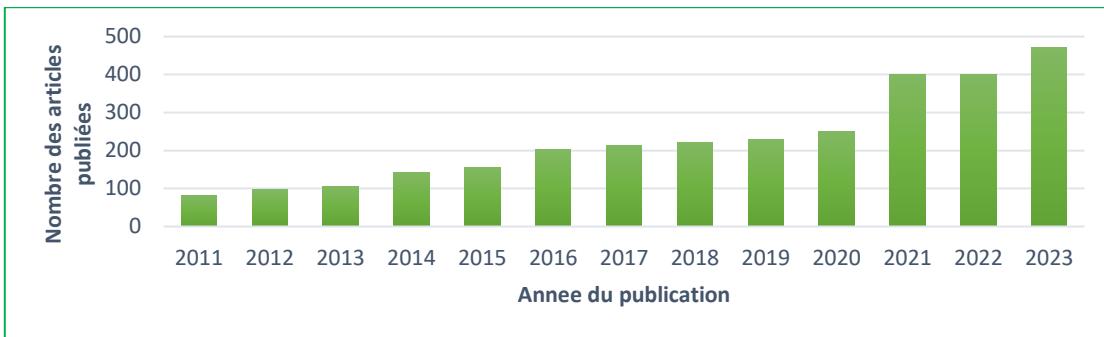


Figure 5 : Graph d'évolution de nombre des publications sur optimisation des processus logistique

La figure 6 traite les technologies 4.0 divers, qui sont utilisées pour **Optimisation des processus logistiques des navires liés à l'exportation**.

On constatant que la **simulation & modélisation**, l'**intelligence artificielle**, et l'**analyse des données avancée** sont les technologies les plus dominantes.

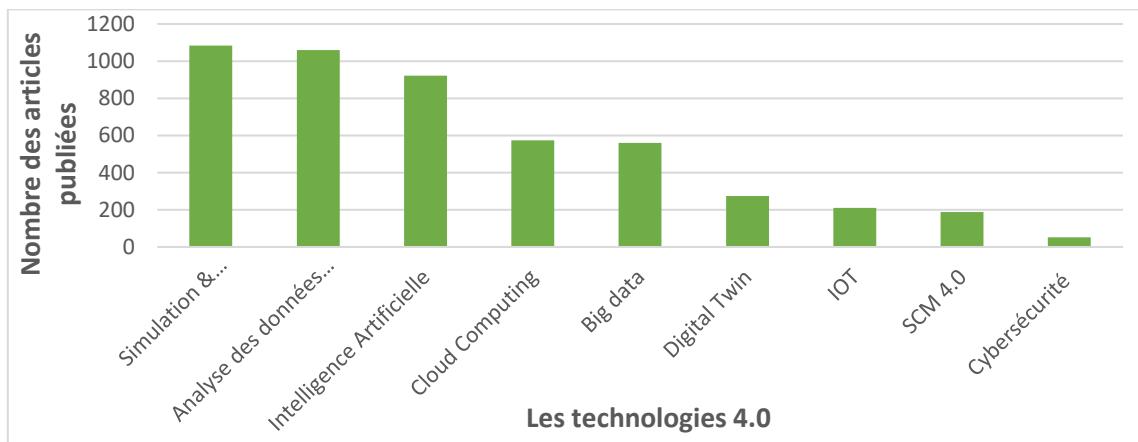


Figure 6 : Graph des technologies 4.0 qui sont utilisées dans digitalisation

## Conclusion

Dans ce chapitre introductif, nous avons dressé les contours de notre Projet Industriel de Fin d'Études en présentant le Groupe OCP et l'unité d'accueil. En définissant les objectifs, le périmètre et les acteurs du projet, ainsi que les aspects pédagogiques et la planification, nous avons posé les fondations nécessaires pour aborder l'état des lieux et l'analyse des processus logistiques actuels liés à l'exportation des engrains.

La digitalisation représente la nouvelle philosophie que toutes les industries s'efforcent d'adopter dans leurs processus pour atteindre une performance maximale, normaliser les opérations et résoudre les problèmes dans les processus actuels. Avant d'appliquer ces technologies, il est impératif d'améliorer notre compréhension des processus logistiques actuels liés à l'exportation des engrains. C'est précisément ce que nous aborderons dans le prochain chapitre.

# Chapitre II : État & Analyse d'existant

## Introduction

Après avoir exposé dans le premier chapitre des généralités contexte général du projet, nous allons désormais examiner les différents processus et tenter d'analyser les causes principales des problèmes rencontrés dans les processus logistiques.

## I. Parcours de Distribution du Produit Final

### 1. Infrastructure Et Opérations Logistiques

#### A. Port

Dans le port, il y a six portiques répartis comme suit : **1 Nord, 1 Ter, 1 Bis, 2 Nord, 2 Ter et 2 Bis**. Chaque portique a une capacité de transfert de 2 000 tonnes par heure. Les portiques 1 Nord et 2 Nord peuvent gérer des cargaisons allant à 100 000 tonnes, tandis que les autres portiques sont adaptés à des cargaisons de moins de 60 000 tonnes. Ces portiques jouent un rôle essentiel dans les opérations d'exportation et d'importation.

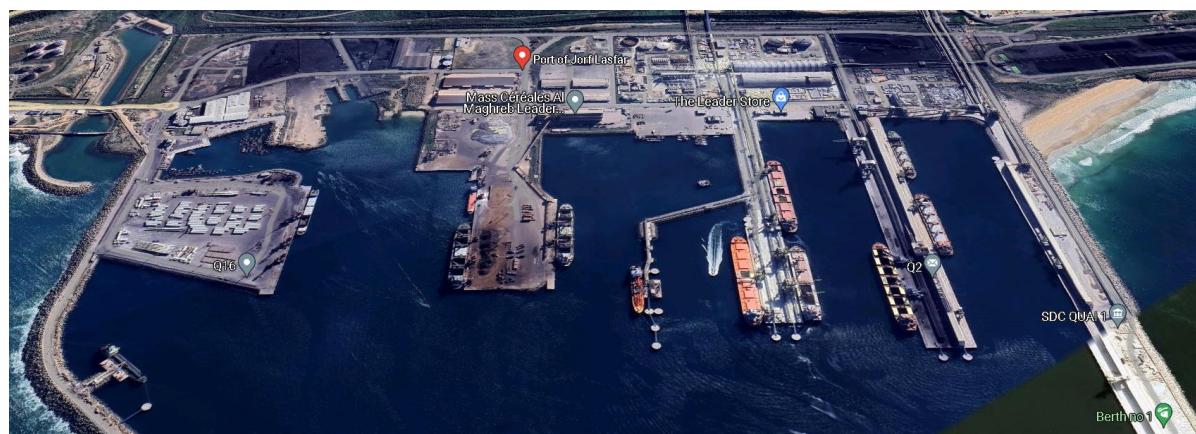


Figure 7 : Port d'exportation et importation d'OCP de Jorf Lasfar

#### B. Stock

L'engrais est un produit qui absorbe l'humidité, il est donc crucial de le stocker dans des hangars bien ventilés et étanches. Les quatorze hangars, construits en béton armé, possèdent un toit ovale. Chaque hangar reçoit le produit via un convoyeur à bande, situé à 30 mètres de hauteur pour optimiser l'espace de stockage.

Les stocks sont divisés en deux zones principales : Nord et Sud. **La zone Nord** contient neuf stocks, dont six (HE01 à HE06) ont une capacité de 100 000 tonnes chacun. Les stocks HE01 à

HE04 disposent de deux gratteurs pour le déstockage dans les convoyeurs à bande, tandis que les autres stocks disposent d'un seul gratteur en différentes versions. Il y a également trois stocks (18A, 18B et 18C) avec une capacité de 50 000 tonnes chacun. La zone Sud comprend les stocks JFC1, JFC2, JFC3, JFC4 et JFC5, ont une capacité de 100 000 tonnes chacun.

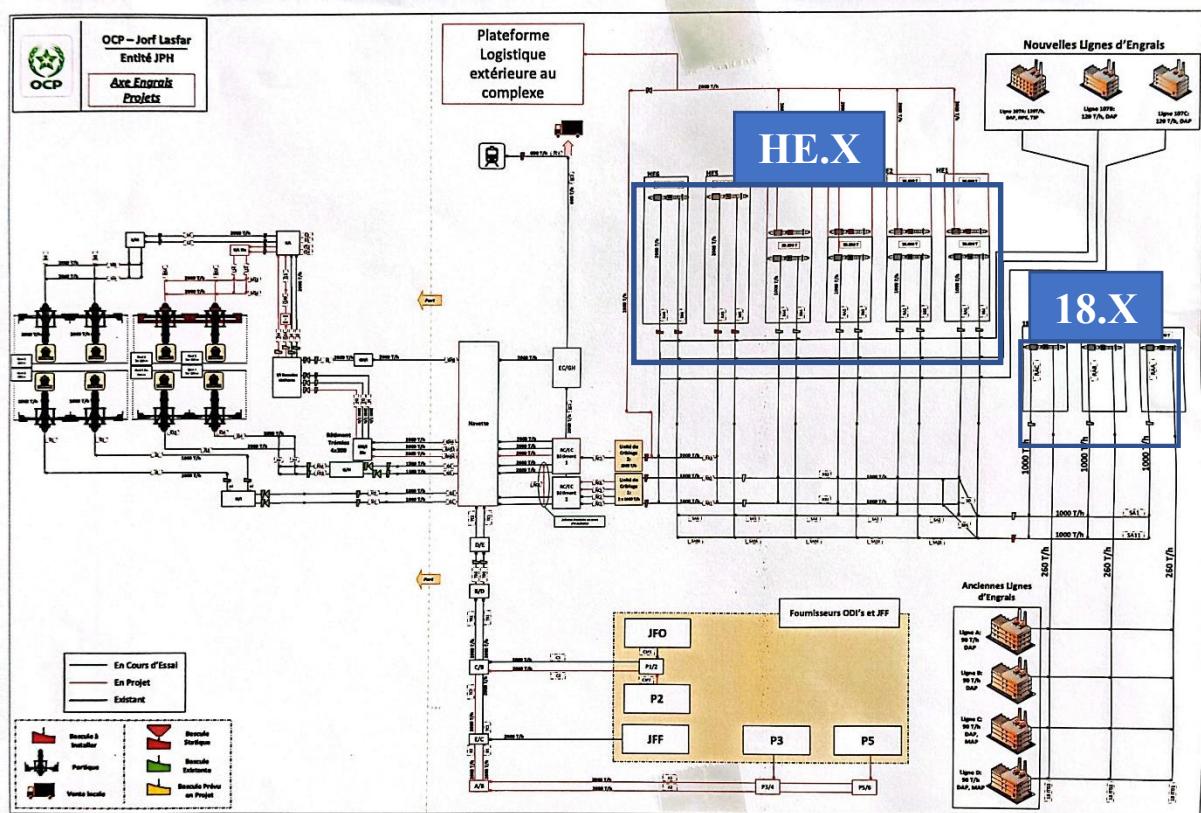


Figure 8 : Circuit de la zone de stockage des engrais

**Les engrais fabriqués** sont entreposés dans divers hangars de différentes capacités avant leur expédition par bateau. Ces hangars ne sont pas tous directement connectés aux convoyeurs qui chargent les navires, nécessitant ainsi des manipulations supplémentaires. Ils sont également limités dans le nombre de types d'engrais qu'ils peuvent accueillir, avec des exigences de séparation parfois strictes. Comme l'illustre la **Figure 8**, chaque hangar est subdivisé en plusieurs sections de stockage, appelées « **arches** ». La gestion dynamique de ces espaces de stockage, qui doit tenir compte des capacités de stockage, des commandes en cours et des moyens de manutention disponibles, pose des défis significatifs pour la planification de la production d'engrais.



*Figure 9 : Arche dans le stock HE03*

### C. Usines De Production

Les installations de production comprennent une ancienne et une nouvelle usine. **L'ancienne usine** dispose de **quatre lignes de production** (A, B, C et D), chacune avec une capacité de 90 tonnes par heure. Les lignes A, B et C produisent principalement des engrains de la famille DAP, tandis que la ligne D peut produire des engrains des familles DAP et MAP.

**La nouvelle usine** est équipée de trois lignes de production : la ligne 107A, qui produit des engrains des familles DAP, NPK et TSP avec une capacité de 120 tonnes par heure ; la ligne 107B, qui produit des engrains de la famille DAP avec une capacité de 120 tonnes par heure ; et la ligne 107C, également avec une capacité de 120 tonnes par heure, produisant principalement du DAP. Ces usines sont cruciales pour transformer les matières premières en produits finis prêts à l'exportation.

### D. Manutention

La manutention comprend quatre principaux types d'équipements :

- **Convoyeurs** : Utilisés pour transférer les matières premières et les produits finis entre les lignes de production, les stocks et les portiques de chargement. Il existe deux types de convoyeurs avec des capacités de 1 200 tonnes par heure et 1 600 tonnes par heure.
- **Chariot verseur** : Utilisé pour distribuer le produit dans tout le hangar, il peut se déplacer le long du hangar et se positionner au-dessus des différentes zones de stockage pour y décharger le produit acheminé par les convoyeurs.
- **Flotte de camions** : Employée pour le transfert local des produits.

- **Navires** (clients) : Utilisés pour transporter les produits finis aux clients.
- **Portiques** : Six portiques de chargement, chacun avec une capacité de 2 000 tonnes par heure.
- **Gratteur** : C'est un dispositif de déstockage. Par ailleurs, le convoyeur de stockage est relié à un chariot verseur. Les zones de stockage, définies par les arches, permettent de conserver plusieurs qualités de produits dans un même hangar.



Figure 11 : Gratteur déstocké les engrais

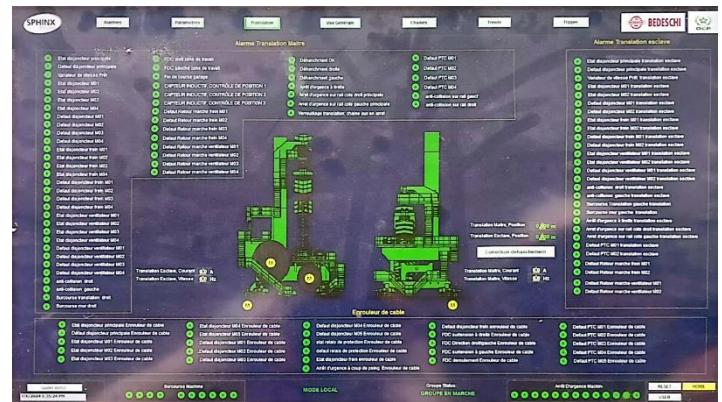


Figure 10 : Interface de surveillances du gratteur

Plusieurs versions de gratteurs pour le déstockage sont utilisées chez JPH, évoluant avec les années : on retrouve les modèles de 1986, 2000, 2010 et 2020. Bien que la vitesse de déchargement soit assez similaire entre les versions, les fonctionnalités s'améliorent avec chaque nouvelle version. Les versions les plus récentes fournissent une vue d'ensemble sur les pannes potentielles qui pourraient survenir avec le gratteur. De plus, le contrôle est facilité par rapport aux versions antérieures, offrant des options de commande automatique, semi-automatique et manuelle.

## E. Produits Circulés

Les produits circulés incluent les matières premières et les produits finis.

- **Matières premières** : Il s'agit de l'ammoniac liquide, du soufre (tous deux importés), et du phosphate transféré par pipeline depuis Khouribga. Ces matières premières sont utilisées dans les usines pour produire divers engrais et autres produits finis.
- **Produits finis** : L'OCP produit divers types d'engrais standard, notamment le Di-Ammonium Phosphate (**DAP**), le Mono-Ammonium Phosphate (**MAP**), et le Triple Super Phosphate (**TSP**). Ces engrais peuvent être utilisés directement ou en mélanges personnalisés. L'OCP produit également des engrais enrichis, comme le NP+, le **NPK** et le Teractiv, qui sont fortifiés avec des micro-ingrédients secondaires tels que le calcium et le soufre pour augmenter la productivité des plantes et protéger contre la

dégradation des sols. NP+, NPK et Teractiv peuvent être utilisés directement ou en mélanges.

## 2. Planification Actuelle En Détail

### A. Définition De Planification

La **planification d'exportation** est un processus **stratégique** et **opérationnel** qui vise à organiser et à gérer l'expédition de marchandises vers des marchés étrangers. Ce processus inclut la coordination de diverses activités telles que la sélection des produits à exporter, la gestion des stocks, la planification des opérations de chargement, la conformité aux réglementations internationales, et la logistique de transport. L'objectif est de garantir que les marchandises sont expédiées efficacement, en respectant les délais et en optimisant les coûts, tout en répondant aux besoins des clients internationaux. Une planification d'exportation efficace est essentielle pour maximiser la satisfaction des clients, minimiser les interruptions et assurer une chaîne d'approvisionnement fluide et rentable.

### B. Planification Quotidienne

Chaque matin, à l'heure de 7 heures, se tient une réunion cruciale qui réunit l'ensemble des **parties prenantes impliquées** dans la planification. Cet assemblage inclut **les agents** de maintenance, chargés de fournir un état détaillé des machines essentielles à la partie portuaire, telles que les portiques, les axes et les convoyeurs. De même, **les gestionnaires** des stocks sont présents pour informer sur les opérations de déstockage, tandis que les opérateurs des **lignes de production** partagent des informations sur l'état et la disponibilité des machines nécessaires à la fabrication. **Les responsables de la production** sont également présents pour discuter des commandes en cours et de leur statut. Une particularité de cette réunion est la décision de ne pas stocker certains produits. Au lieu de cela, ces produits sont directement transférés au port pour être chargés sur les navires en partance. À l'issue de ces discussions et de cette coordination étroite entre les différentes équipes, **une planification de chargement** est élaborée pour les 24 prochaines heures, garantissant ainsi une exécution fluide et efficace des opérations.

Pendant l'élaboration du plan, les équipes prennent en compte **les arrêts planifiés** pour la maintenance ou tout autre type d'arrêts programmés. Le responsable de la maintenance fournit des informations cruciales sur ces arrêts, permettant ainsi d'intégrer ces contraintes dans la planification globale. De plus, conscients des aléas potentiels, les équipes élaborent également des plans de secours pour faire face à des arrêts non planifiés, en particulier des pannes sur des machines critiques. Ces **plans de secours** sont conçus pour minimiser les interruptions et



demandes (satisfaites, en cours de chargement, futures), chacune étant identifiée par une couleur distincte. Chaque demande est associée au nom du navire, à la date et aux différentes qualités d'engrais requises, accompagnées de leurs quantités respectives. De plus, le calendrier indique le stock utilisé pour satisfaire chaque demande. Il offre également une fonctionnalité de **suivi discret** des quantités chargées, générant des données après chaque shift (il y a trois shifts dans une période de 24 heures). Ces données sont recueillies dans une feuille Excel dédiée, fournissant un suivi détaillé du chargement ainsi que des arrêts survenus pendant les opérations logistiques. De plus, le calendrier permet également de visualiser quel quai est occupé par chaque navire pour satisfaire la demande, offrant ainsi une vue d'ensemble complète de la planification et de l'exécution des opérations de chargement.

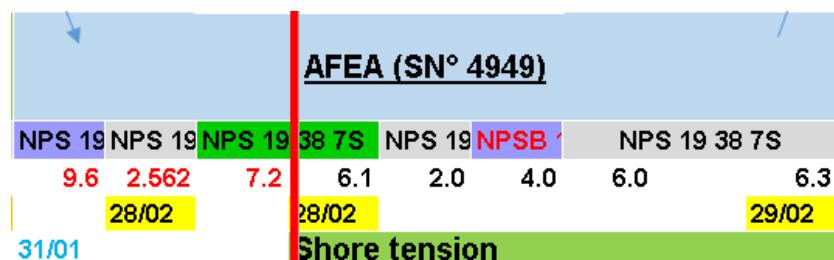


Figure 14 : Représentation d'un navire dans l'outil de planification

## E. Suivie Des Opérations De Chargement

Le suivi des processus de chargement des engrains des navires commence dès la réception du plan de chargement, qui contient la séquence de calle pour chaque navire, détaillant toutes les opérations à effectuer pendant le chargement, telles que le déchargement dans la cale spécifique avec une quantité spécifique, les opérations de déhalage et les contrôles de turent d'eau. Une fois que le navire donne son autorisation de chargement, la quantité réellement chargée est enregistrée à l'aide du contrôle de turent d'eau et est saisie dans une feuille Excel dédiée, identifiée par la date en cours, dans un fichier Excel. De plus, tous les arrêts survenus pendant le chargement sont également enregistrés. À la fin de chaque shift, ce fichier est envoyé manuellement aux acteurs concernés pour mettre à jour le fichier Excel de planification et de suivi, assurant ainsi une communication transparente et une coordination efficace entre les différentes parties prenantes impliquées dans le processus de chargement des navires.

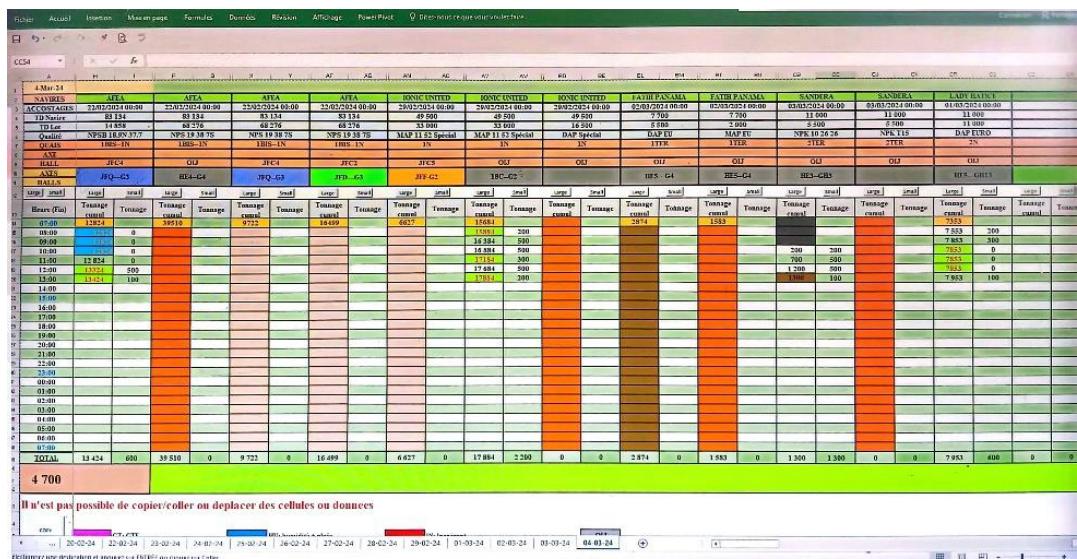


Figure 15 : Outil de suivi de chargement des navires dans le port

De plus, un autre fichier Excel est dédié au suivi du chargement réalisé par rapport à l'objectif journalier. Ce fichier permet de comparer les quantités réellement chargées avec les objectifs fixés pour chaque journée. Cette comparaison offre une visibilité instantanée sur les performances de chargement et permet d'identifier rapidement les écarts entre les prévisions et les réalisations. Ainsi, ce suivi permet une évaluation continue de l'efficacité opérationnelle et contribue à l'ajustement des plans de chargement pour optimiser les performances et atteindre les objectifs fixés.

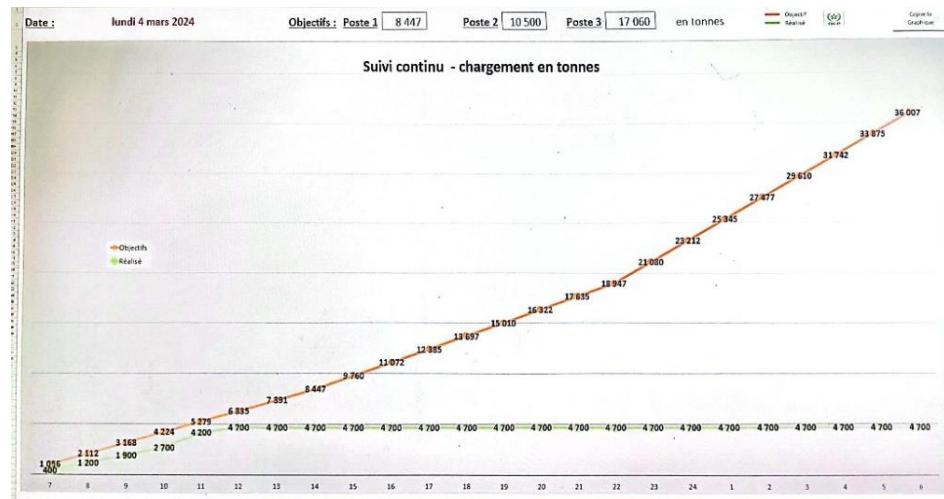
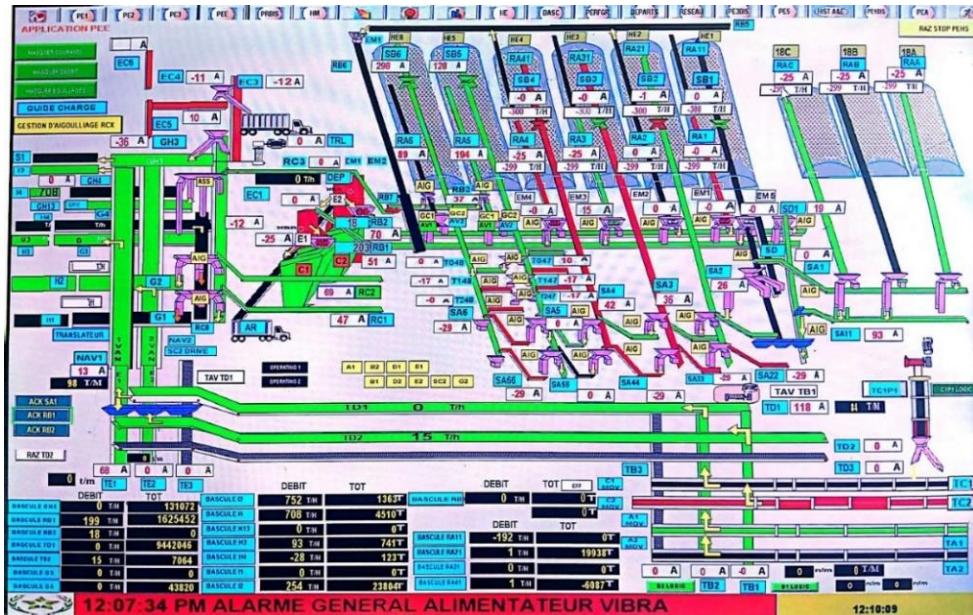


Figure 16 : Comparaison de la quantité chargée et la prévision

Une application offre une vision globale en temps réel du processus, de la disponibilité des machines en stock jusqu'à l'exportation. Grâce à des capteurs et systèmes de suivi automatisés, elle fournit des mises à jour sur les niveaux de stock, les chargements en cours et les flux

logistiques. Cette visibilité permet une gestion proactive, facilitant des décisions rapides et la résolution immédiate des problèmes, assurant ainsi une exécution plus efficace et une meilleure satisfaction des clients.



*Figure 17 : Application de suivi des machines et équipements de la chaîne d'exportation*

## F. Inconvénients De L'outil De Planification Actuel

Les outils de planification et de suivi sont cruciaux pour assurer une gestion efficace des opérations d'une entreprise. Cependant, malgré les avancées technologiques, de nombreuses solutions présentent encore des lacunes importantes. Il est donc essentiel d'identifier et de comprendre ces inconvénients pour améliorer les performances opérationnelles.

Parmi les inconvénients observés de l'outil actuel de planification et de suivi, on peut noter :

- 1) Manque de normalisation des données :** La variabilité dans la manière dont les données sont saisies et enregistrées rend difficile leur analyse cohérente et précise. Par exemple, différentes conventions de dénomination ou de formatage peuvent compliquer la comparaison et l'agrégation des données.

- 2) Erreurs humaines** : Les erreurs humaines lors de la saisie ou de la manipulation des données peuvent entraîner des inexactitudes et des lacunes dans les informations enregistrées. Cela peut inclure des fautes de frappe, des erreurs de transcription ou des omissions accidentnelles.

<input checked="" type="checkbox"/> 1 TER	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de hall	<input checked="" type="checkbox"/> HE1	<b>POSTE</b>
<input checked="" type="checkbox"/> 1BIS	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de hall du HE01 vers	<input checked="" type="checkbox"/> HE1 BIS	2+3
<input checked="" type="checkbox"/> 1N	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de hall vers HE01	<input checked="" type="checkbox"/> HE1/3	1+2
<input checked="" type="checkbox"/> 1S	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de hall vers HE1 BIS	<input checked="" type="checkbox"/> HE1BIS	1+2
<input checked="" type="checkbox"/> 1SUD		<input checked="" type="checkbox"/> HE1BIS/HE2BIS	2+3
<input checked="" type="checkbox"/> 1TER	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de cake	<input checked="" type="checkbox"/> HE2	-
<input checked="" type="checkbox"/> 1TRE	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de cale	<input checked="" type="checkbox"/> HE2bis	2+3
<input checked="" type="checkbox"/> 2 BIS	<input checked="" type="checkbox"/> Changement de cale (Attente ouv)	<input checked="" type="checkbox"/> HE3	2+3
<input checked="" type="checkbox"/> 2BIS	<b>Attente libération contrepoids cv ?? (EP)</b>		

Figure 18 : Exemples des erreurs et anomalies de la liste des arrêts 2023

- 3) Discontinuité entre les programmes** : La déconnexion entre les programmes utilisés pour le suivi et la planification crée des lacunes dans le flux d'informations, ce qui peut entraîner des retards et des erreurs de communication. Par exemple, si les données ne sont pas synchronisées en temps réel entre les différents systèmes, cela peut entraîner des incohérences et des difficultés de suivi.
- 4) Données non temps réel** : Les données ne sont pas mises à jour en temps réel, ce qui signifie que les décisions sont prises sur la base d'informations potentiellement obsolètes. Cela peut entraîner des retards dans la prise de décision et des inefficacités opérationnelles, surtout dans un environnement où les conditions changent rapidement.
- 5) Limitations fonctionnelles** : L'outil actuel peut manquer de fonctionnalités avancées nécessaires pour une planification et un suivi efficaces, limitant ainsi sa capacité à répondre aux besoins complexes de l'entreprise. Par exemple, il peut ne pas offrir de fonctionnalités d'analyse avancées ou de modélisation de scénarios.
- 6) Difficulté à rechercher des données anciennes** : La récupération et l'analyse de données historiques peuvent être laborieuses en raison de l'absence de fonctionnalités de recherche efficaces. Cela peut rendre difficile la rétro-ingénierie des tendances passées ou l'identification des causes racines des problèmes.



Figure 19 : Feuille (par jour) dans l'outil de suivi de chargement

- 7) **Interfaces peu conviviales** : Les interfaces utilisateur peu conviviales compliquent la lecture et la compréhension des données, rendant difficile l'évaluation de la performance globale. Cela peut entraîner une utilisation inefficace de l'outil et une frustration pour les utilisateurs.
- 8) **Manque de centralité des données** : Les données peuvent être dispersées dans différents systèmes ou fichiers, ce qui rend difficile leur accès et leur analyse centralisés. Cela peut entraîner des redondances, des incohérences et des lacunes dans l'information, compromettant la qualité globale des données et la prise de décision.

### 3. Analyse Des Arrêts

L'identification des inconvénients de l'outil actuel de planification souligne la nécessité d'une analyse approfondie des causes des arrêts de chargement. Une analyse utilisant la méthode ABC pourrait identifier et prioriser les problèmes les plus fréquents et significatifs. En se concentrant sur les principaux contributeurs, cette analyse permettrait de diriger les efforts d'amélioration là où ils auront le plus d'impact. Nous avons réalisé une analyse ABC et un tableau de bord avec Power BI pour examiner les causes principales, le nombre de causes et le nombre de navires en arrêt, que ce soit par stock, portique, type d'engrais, et plus encore.

#### A. Analyse Des Causes Des Arrêts (PowerBI)

En utilisant le tableau de bord, nous avons constaté que les arrêts liés à tous les types d'engrais représentent la deuxième et la troisième cause principale des arrêts, à savoir **l'élimination des produits contaminés** et les interruptions dues à **la pluie**. Nous perdons respectivement **473 heures** et **1359 heures** en raison de ces problèmes.

Une solution potentielle serait d'utiliser **une couverture de protection contre la pluie lors du chargement de matières en vrac sur les navires**. Pour ce faire, nous devons concevoir cette couverture en 3D afin de garantir une protection efficace contre les intempéries et de réduire les temps d'arrêt liés à ces incidents.

- ❖ La conception et le dimensionnement de cette **couverture** étaient le **sujet** du PFE d'un autre **groupe** ; notre attention se porte sur d'autres problèmes liés au **suivi et à la planification**.



Figure 20 : Tableau de bord (réalisé par PowerBI) des arrêts de l'année 2023

## B. Analyse ABC

Analyse ABC : Une méthode de classification qui divise les éléments (articles, clients, activités, etc.) en trois catégories principales en fonction de leur contribution à un objectif spécifique, généralement la valeur monétaire ou l'impact sur les résultats.

### a. Classification Abc (Fréquence)

*Tableau 2 : Classification des causes des arrêts par fréquence*

Les Arrêts	Fréquences	Cumul	%Cumul	Classe
CHANGEMENT DE CALE	2418	2418		
PAS DE NAVIRE PHOSPHATE	1418	3836	32%	
CTE	904	4740	39%	
REmplissage du circuit	681	5421	45%	
ARRÊT PAR INTERTEK	552	5973	49%	
CHANGEMENT DE TAS	500	6473	54%	
ATTENTE COMPLÉMENTAIRE	462	6935	57%	
ELIMINATION DU PRODUIT NON CONFORME	407	7342	61%	
ATTENTE DÉMARRAGE DU CIRCUIT JFQ	395	7737	64%	A
CHUTE DE PLUIE	385	8122	67%	
ATTENTE CFC	380	8502	70%	
ELIMINATION DU PRODUIT CONTAMINÉ	354	8856	73%	
ATTENTE DÉMARRAGE DU CIRCUIT JFD	351	9207	76%	
HUMIDITÉ	296	9503	79%	
ATTENTE DÉMARRAGE DU CIRCUIT JFO	280	9783	81%	
PAS DE NAVIRE EN ATTENTE	246	10029	83%	
CONTRÔLE DU PRODUIT	215	10244	85%	
ATTENTE DÉMARRAGE DU CIRCUIT JFF	188	10432	86%	
ATTENTE OC	186	10618	88%	B
ATTENTE DÉMARRAGE DU CIRCUIT JFT	176	10794	89%	
ATTENTE CONFIRMATION DE LA QUALITÉ	171	10965	91%	
COUPURE DU PRODUIT	168	11133	92%	
EGALISATION DE TAS	161	11294	94%	
EPUISEMENT DU STOCK	149	11443	95%	
CTE PAR LE BORD	136	11579	96%	
PATINAGE CV ??	108	11687	97%	
RUPTURE JEUNE	105	11792	98%	
DÉFAUT ÉLECTRIQUE AU NIVEAU DU GRATTEUR HE05	95	11887	98%	
PRÉPARATION DU CIRCUIT	93	11980	99%	
DÉCLENCHEMENT P01	90	12070	100%	C



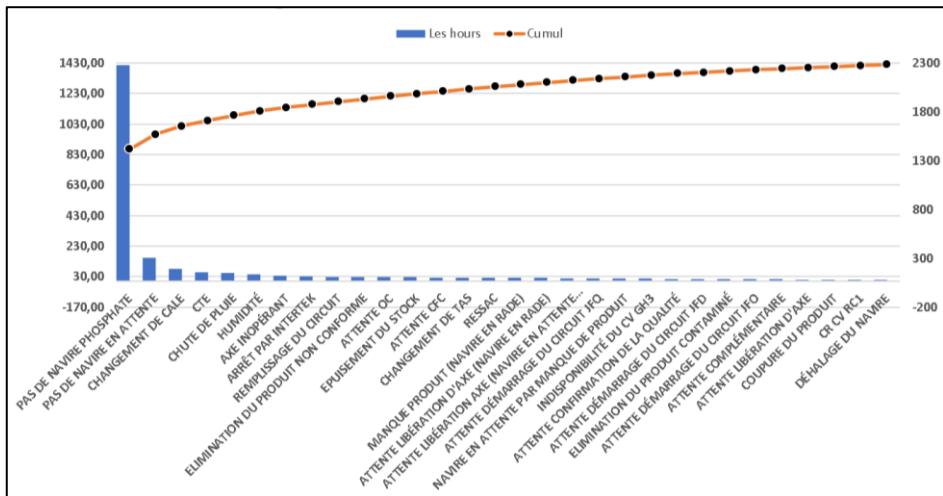


Figure 22: Graph de classification des causes des arrêts par Méthode ABC

Nous constatons que la première cause d'arrêt que nous pouvons optimiser est le **CTE** (contrôle de tirant d'eau), représentant 7% de la durée totale des arrêts. Par conséquent, nous pouvons confirmer que le CTE est le problème sur lequel nous allons nous concentrer dans la section suivante.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons minutieusement retracé le parcours du processus de distribution du produit final, de la commande à la livraison. En examinant en détail l'infrastructure et les opérations logistiques, notamment les ports, la gestion des stocks, les installations de production, la manutention et la circulation des produits, nous avons obtenu des perspectives cruciales sur l'état actuel des choses. À travers une analyse détaillée de la gestion efficace du stockage des engrains, des processus de transfert, de la détermination des stocks, des procédures de chargement et des processus de planification quotidienne, nous avons identifié des domaines clés à améliorer.

Notre analyse a révélé la nécessité de solutions innovantes pour améliorer les processus de planification quotidienne et optimiser l'efficacité opérationnelle. De plus, nous avons souligné l'importance de la numérisation du processus de suivi, en particulier du processus de Contrôle de Tirant d'Eau (**CTE**). Les **outils informatiques** actuels de suivi ne sont **pas efficaces** et la **planification** est réalisée principalement sur la base de **l'expérience**. Dans le chapitre suivant, nous détaillerons les solutions pour chacune de ces trois inefficacités.

# Chapitre III : Planification et suivi des opérations logistiques

## Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons le suivi des opérations logistiques lors du chargement des navires. Nous diviserons le chapitre en trois sections principales :

- Amélioration des opérations répétitives de suivi de chargement.
- Conception d'une plateforme de suivi des opérations.
- Modélisation mathématique de planification journalier

## Section I : Focus sur le Contrôle de Tirant d'Eau

### Justification Du Problème

Suite à notre analyse ABC, il apparaît clairement que **le contrôle du tirant d'eau** représente l'une des opérations les plus répétitives et cruciales de notre processus. Actuellement, cette tâche est effectuée de manière **traditionnelle**, exigeant une **précision élevée** pour garantir son bon déroulement, particulièrement lorsqu'elle est appliquée à des navires de grande taille. Toutefois, cette méthode traditionnelle présente des limites en termes d'efficacité et de précision, ce qui souligne la nécessité d'une modernisation.

Dans cette optique, nous explorons des **solutions** de **digitalisation** adaptées au suivi de chargement. Cette démarche vise à remplacer les méthodes traditionnelles par des technologies plus efficaces et précis. Notre objectif est de trouver une solution qui non seulement améliore la précision du contrôle du tirant d'eau, mais aussi simplifie et accélère le processus global. Nous **examinerons** attentivement les différentes options disponibles et les **comparerons** pour déterminer celle qui répond le mieux à nos besoins spécifiques en matière de suivi de chargement.

### 1. Définition

Le sondage de tirant d'eau est une étude "**avant et après**" qui détermine, par des mesures, le **déplacement** du **navire** avant et après le chargement ou le déchargement. La différence entre ces deux déplacements correspond au **poids** de la cargaison chargée ou déchargée.

## 2. Pourquoi Le Contrôle De Tirant d'Eau Est Essentiel ?

Le contrôle de tirant d'eau est une tâche nécessaire pour mesurer avec précision la quantité de produit transféré vers le navire. Cette tâche est classée dans notre analyse ABC comme une opération à haute priorité car elle consomme beaucoup de temps (1400 heures) et a une probabilité d'erreur significative. En effet, cette opération est actuellement réalisée manuellement par des agents qui dépendent de leur observation et de leur expérience.

## 3. Objectif D'un Sondage De Tirant d'Eau Bien Conduit

Un sondage de tirant d'eau bien conduit pour un grand navire devrait atteindre **une précision** de l'ordre de **0,5%**. Cependant, les erreurs peuvent survenir en raison de l'observation humaine et des conditions variées des navires et des ports.

## 4. Problèmes Actuels

- **Consommation de Temps** : Cette opération consomme 1400 heures, ce qui représente une part significative du temps total des opérations.
- **Probabilité d'Erreur** : La dépendance à l'observation humaine peut entraîner des erreurs, affectant la précision des mesures de chargement.

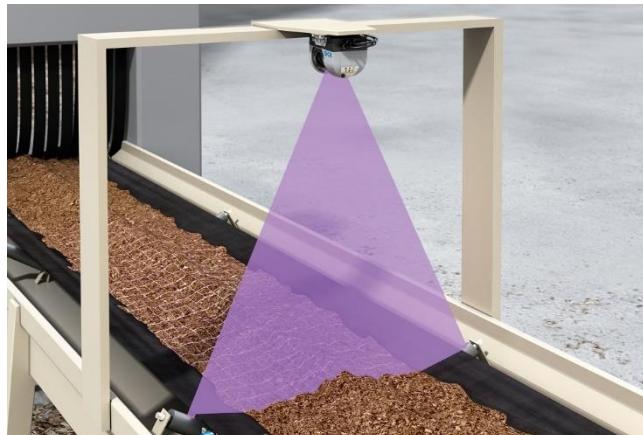
## 5. Solutions Recommandées

Les solutions possibles pour le contrôle de la quantité transférée vers les navires peuvent être divisées en **deux catégories principales** :

### A. Ces solutions utilisent des technologies avancées pour calculer le volume transféré vers le navire.

#### ➤ *Scannage des engrains passant par le convoyeur avec un scanner laser:*

- Installation de scanners laser : Des scanners laser sont installés au-dessus des convoyeurs transportant les engrains. Ces scanners balayent en continu la surface des matériaux en mouvement.
- Capture des données en temps réel : Le laser mesure avec précision la hauteur et la distribution des engrais sur le convoyeur.
- Calcul du volume en temps réel : En tenant compte de la vitesse du convoyeur, le système de scannage laser calcule le volume des engrais qui passent sur le convoyeur en temps réel.



*Figure 23 : Bulkscan LMS111-10190 une solution réalisé par l'entreprise SICK sensor intelligence*

➤ **Scannage de la cale du navire avec un scanner 3D :**

- Avant le chargement : Un scanner 3D est utilisé pour créer un modèle détaillé de la cale du navire avant que la cargaison ne soit chargée. Ce modèle capture les dimensions précises et l'état initial de l'espace de chargement.
- Après le chargement : Une fois le chargement terminé, un second scan 3D est effectué pour capturer l'état de la cale avec la cargaison.
- Comparaison des modèles : Les deux scans (avant et après chargement) sont comparés pour calculer avec précision le volume de la cargaison transférée

**B. Ces solutions utilisent des technologies autonomes et des méthodes avancées pour mesurer le déplacement du navire et déterminer la quantité de cargaison.**

➤ **Utilisation de drones autonomes pour capturer le niveau d'eau :**

- Des drones autonomes sont déployés autour du navire pour mesurer le niveau d'eau aux six côtés du navire. Ces drones utilisent l'IA et des techniques de traitement d'image pour fournir des mesures précises. Cette méthode permet de réduire considérablement le temps et les efforts nécessaires pour effectuer un sondage de tirant d'eau manuel.



*Figure 24 : Drones autonomes visualiser le niveau d'eau d'un navire*

Les séquences vidéo capturées par un drone peuvent déterminer correctement la lecture du tirant d'eau

➤ ***Observation sonar du tirant d'eau sous l'eau :***

- Des sonars sont utilisés pour mesurer le déplacement du navire sous l'eau. Cette méthode est particulièrement utile dans des conditions où la visibilité est réduite et où les méthodes de surface ne sont pas suffisamment précises.

➤ ***Outil de mesure des tirants d'eau de SGS France :***

- SGS France a lancé le Draft Survey Tool, un outil sophistiqué qui mesure les tirants d'eau des navires à quai. Cet outil utilise des capteurs avancés pour fournir des mesures précises et fiables, facilitant ainsi le contrôle de la cargaison transférée.



*Figure 25 : Agent utilise l'outil de mesure des tirants d'eau de SGS France*

## 6. Comparaisons Entre Les Solutions Disponibles

Tableau 4 : Comparaisons entre les solutions disponibles

Critères						Avantages	Inconvénients
LMS111	Élevé	Élevé	Élevé	Faible		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capture des données en temps réel.</li> <li>• Simple à intégrer.</li> <li>• Précision élevée en temps réel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processus continu sensible à l'erreur.</li> <li>• Pas de calcul après le prélèvement des produits contaminés</li> </ul>
Scannage de la cale	Élevé	Élevé	Élevé	Modéré		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcul précis du volume après l'élimination des produits contaminés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solution expérimentale, il n'y a aucun produit sur le marché pour cette solution</li> </ul>
Drones autonomes	Élevé	Faible	Faible	Élevé		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatisation complète</li> <li>• Réduction du temps et des efforts manuels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût initial élevé</li> <li>• Maintenance élevée</li> <li>• Solution sophistiquée</li> <li>• Non fonctionnelle dans des conditions climatiques extrêmes (vent fort, pluie)</li> </ul>
Observation par sonar	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précision même dans des conditions climatiques difficiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût initial élevé</li> <li>• Maintenance élevée</li> <li>• Installation complexe</li> <li>• Solution expérimental</li> </ul>
SGS France	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très simple à intégrer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensible aux mouvements excessifs du navire</li> </ul>

## Section II : Présentation de la Plateforme de Suivi de Chargement

### 1. Introduction

Dans le cadre de notre engagement envers l'innovation et l'amélioration continue, nous entamons la planification d'un projet informatique d'envergure visant à développer une **plateforme de suivi de chargement** de pointe. Cette initiative reflète notre volonté de moderniser et d'optimiser nos opérations logistiques, en exploitant pleinement **les avantages offerts** par les technologies numériques. Les observations effectuées sur les applications actuellement utilisées dans la planification des processus logistiques d'exportation ont révélé de nombreux problèmes et lacunes qui doivent être résolus.

Ces défis comprennent notamment des processus manuels laborieux, une **traçabilité insuffisante** des données et des **retards** dans la communication des informations critiques. Ainsi, le développement de cette plateforme représente une **opportunité stratégique** pour remédier à ces problèmes et pour moderniser nos méthodes de travail. En adoptant une approche méthodique et axée sur les résultats, nous aspirons à mettre en œuvre une solution robuste et évolutive qui répondra pleinement aux besoins de notre entreprise.

### 2. Justification de solution

Lors de l'analyse des arrêts, plusieurs **lacunes** ont été identifiées, notamment des **anomalies** et des **erreurs de non-normalisation**. Ces défauts remettent en **question la fiabilité et la qualité des données** recueillies. De plus, le processus actuel d'enregistrement des arrêts se fait sur une base quotidienne plutôt qu'en **temps réel**, entraînant un **décalage de 24 heures** entre les arrêts et sa prise de connaissance **par le responsable** de la chaîne d'approvisionnement.

Afin de remédier à cette situation, il est proposé que les parties prenantes participent à des réunions régulières d'au moins une heure pour partager les états des machines, des stocks et des demandes de production. Il est crucial que ces informations soient disponibles en temps réel sur une plateforme dédiée. De plus, la transmission du planning journalier sous forme de fichier Excel présente des risques de retards et d'erreurs de communication. Enfin, il est impératif d'établir des liens entre les différentes applications afin d'assurer une traçabilité complète des données et d'identifier les responsables de leur saisie et de leur mise à jour.

### 3. Planification du Projet Informatique

La planification du projet comprend plusieurs étapes clés pour garantir un déploiement réussi de la plateforme.

- 1. Analyse des Besoins** : Identifier les besoins spécifiques des utilisateurs et des opérations logistiques.

2. **Conception** : Développer le design initial, y compris les diagrammes UML et les maquettes des interfaces utilisateur.
3. **Développement** : Implémenter les fonctionnalités de la plateforme en suivant les bonnes pratiques de développement logiciel.
4. **Tests** : Effectuer des tests rigoureux pour identifier et corriger les bugs et assurer la robustesse du système.
5. **Déploiement** : Déployer la plateforme sur les environnements de production et assurer une transition fluide.
6. **Formation et Support** : Former les utilisateurs finaux et fournir un support continu pour résoudre les problèmes éventuels.

## 4. Analyse des besoins

L'analyse des besoins est une étape essentielle dans le développement de la nouvelle plateforme de gestion de la chaîne d'approvisionnement. Cette analyse vise à comprendre les exigences des utilisateurs et à identifier les lacunes des systèmes actuels. Voici les principaux besoins identifiés :

- **Accès en Temps Réel aux Informations** : Les systèmes actuels présentent des retards significatifs dans la mise à jour des données, notamment concernant les arrêts des équipements et l'état des stocks. Il est crucial d'avoir un accès en temps réel aux informations pour une prise de décision rapide et efficace.
- **Normalisation et Traçabilité des Données** : De nombreuses anomalies et erreurs résultent de l'absence de normalisation des données. De plus, la traçabilité des informations est insuffisante, ce qui complique la détermination de l'origine des données et le moment de leur insertion. Une meilleure normalisation et une traçabilité accrue sont nécessaires pour garantir l'intégrité et la fiabilité des données.
- **Réduction des Réunions et Optimisation des Processus** : Actuellement, la planification quotidienne nécessite des réunions prolongées où les différents acteurs discutent de l'état des machines, des stocks, des lignes de production et des demandes. Ces informations devraient être disponibles en temps réel sur la plateforme, éliminant ainsi le besoin de réunions fréquentes et permettant une planification plus agile et réactive.
- **Intégration et Communication entre les Applications** : Les applications actuelles fonctionnent de manière isolée, sans connexion entre elles. Une intégration des systèmes est essentielle pour assurer une communication fluide et cohérente entre les différents modules de la chaîne d'approvisionnement, améliorant ainsi la coordination et l'efficacité.
- **Simplification de la Distribution des Informations** : La distribution des plannings et autres informations se fait actuellement via des fichiers Excel envoyés quotidiennement.

Un système centralisé où les acteurs peuvent accéder directement aux informations sur la plateforme réduira les erreurs et les délais associés à ce processus.

## 5. Design de la Plateforme

### A. Diagrammes UML

#### a. Diagramme De Cas d'Utilisation

**Diagramme de Cas d'Utilisation** : Illustrant les interactions entre les différents acteurs et le système de gestion de la chaîne d'approvisionnement de l'OCP. Ce diagramme met en lumière les différentes fonctionnalités offertes par la plateforme, ainsi que les acteurs impliqués dans chaque cas d'utilisation.

Les acteurs principaux identifiés sont :

- **Manager de Stock** : Responsable de la gestion des stocks, ce manager peut consulter l'état des stocks, mettre à jour les quantités de stock, ajouter les arrêts liés au stock, et mettre à jour l'état des équipements.
- **Agent de Suivi de Chargement** : Chargé de la supervision des opérations de chargement, cet agent peut consulter l'état des stocks, consulter la page de planifications, mettre à jour l'état des portiques, ajouter le plan de chargement des navires, suivre en temps réel les opérations de chargement, et ajouter les arrêts liés au chargement.
- **Manager de Maintenance** : Responsable de la maintenance des équipements, ce manager peut mettre à jour l'état des portiques, ajouter les arrêts liés au chargement, et ajouter les arrêts de maintenance planifiés.
- **Manager de la Chaîne d'Approvisionnement Logistique (Admin)** : Admin de la plateforme, ce manager peut consulter toutes les pages de la plateforme, modifier/ajouter/supprimer les indicateurs dans les paramètres, et ajouter le plan de chargement journalier.
- **SAP** : Système externe collaborant avec notre plateforme, SAP peut ajouter les demandes des clients et les navires de chargement.

La plateforme exige **une authentification** préalable pour tous les acteurs, sauf pour les interactions avec SAP. Ce diagramme de cas d'utilisation offre une vue claire des différentes opérations possibles sur la plateforme et des acteurs responsables de chaque tâche.

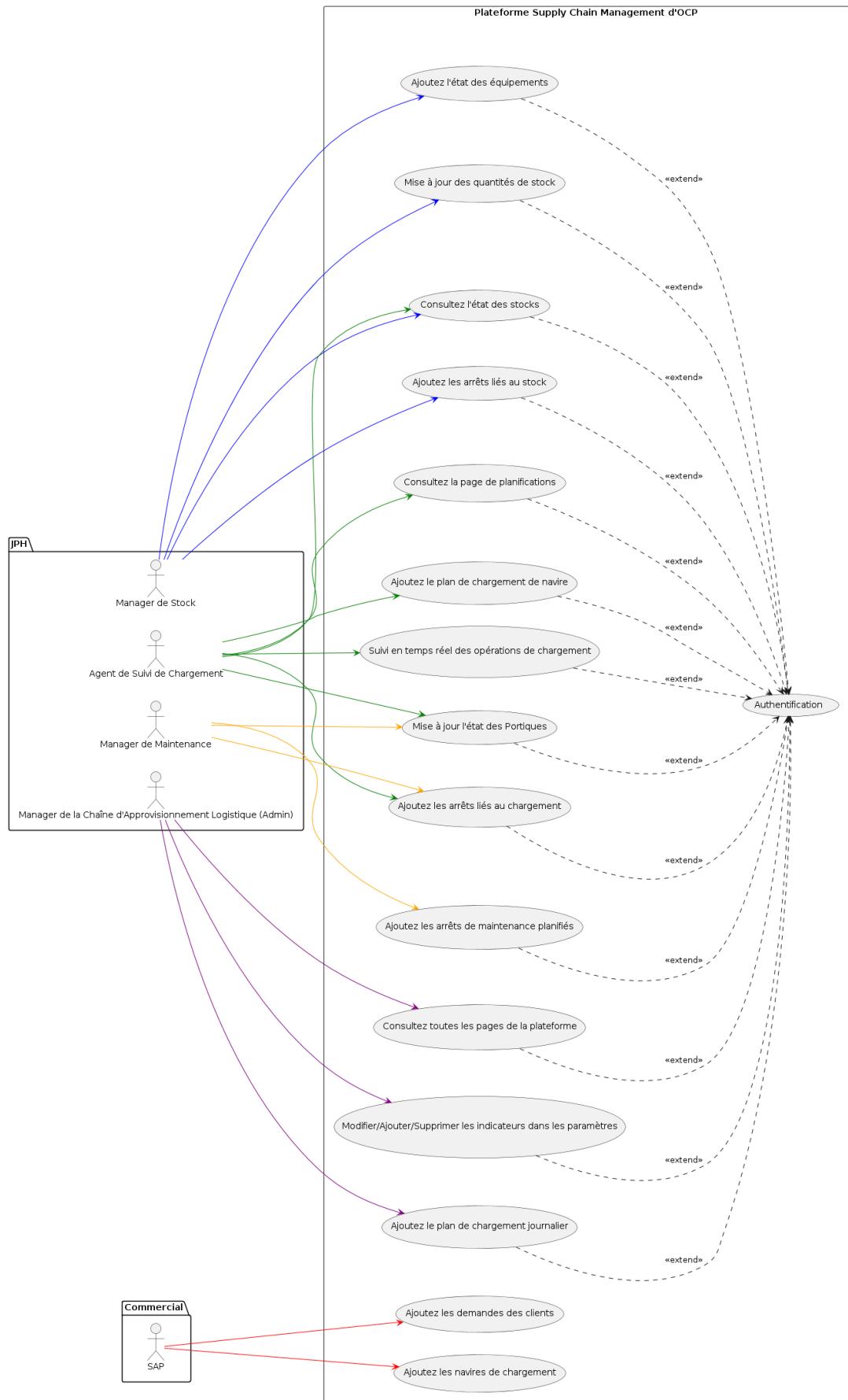
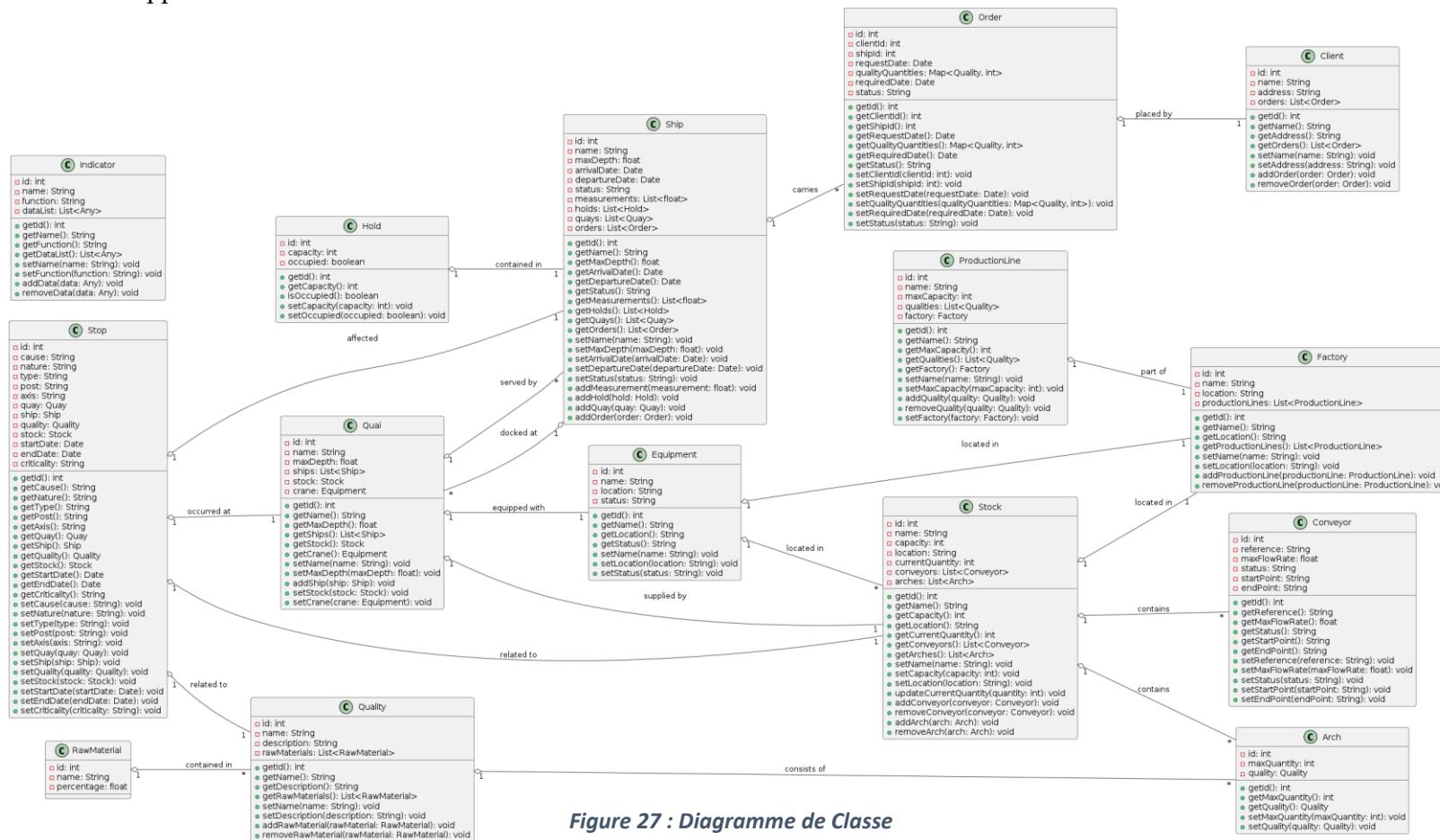


Figure 26 : Diagramme de Cas d'Utilisation

## b. Diagramme De Classe

Dans l'ingénierie logicielle moderne, les **diagrammes de classes** sont des outils indispensables pour visualiser la structure et les relations au sein des composants d'un système. Ils fournissent une feuille de route pour comprendre comment différentes entités interagissent et collaborent pour atteindre des fonctionnalités spécifiques. Dans ce contexte, nous présentons un diagramme de classes complet qui décrit les composants clés et leurs associations dans un système de gestion de la fabrication et de la logistique. Ce diagramme de classes encapsule les entités essentielles impliquées dans la gestion des matières premières, des lignes de production, des usines, des expéditions et des commandes au sein d'un écosystème manufacturier. Grâce à cette représentation visuelle, les parties prenantes peuvent obtenir des informations sur l'architecture du système, ce qui permet une meilleure compréhension, conception et communication entre les équipes de développement.



### c. Diagramme De Séquence

Le diagramme de séquence est un outil essentiel dans la modélisation des systèmes d'information, permettant de représenter les interactions entre les différents acteurs et les systèmes au sein de la plateforme de gestion de la chaîne d'approvisionnement d'OCP. Ce diagramme offre une vue détaillée des échanges de messages et des appels de fonctions qui se produisent au cours d'un processus métier spécifique.

Dans le cadre de notre projet, le diagramme de séquence illustrera les interactions entre les différents acteurs de la plateforme, tels que le Manager de Stock, l'Agent de Suivi de Chargement, le Manager de Maintenance, le Supply Manager, et le système externe SAP. Les principales actions incluent la consultation et la mise à jour des stocks, l'ajout de demandes clients, la planification des chargements de navires, et la gestion des équipements et des arrêts.

En particulier, ce diagramme met en lumière les séquences d'authentification nécessaires pour garantir que seules les personnes autorisées peuvent accéder aux fonctionnalités critiques de la plateforme. Cette vue séquentielle est cruciale pour comprendre le flux d'informations et les dépendances entre les différents composants du système, permettant ainsi d'optimiser les processus et d'assurer une gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement.

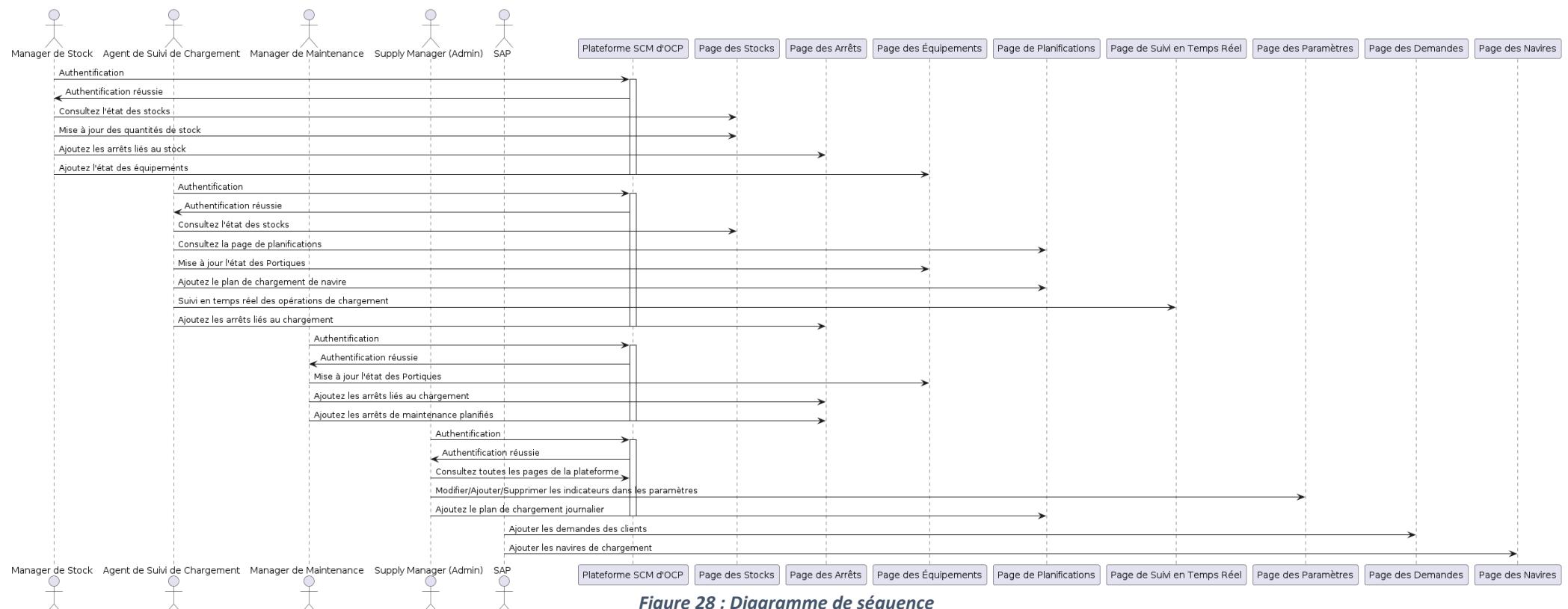


Figure 28 : Diagramme de séquence

## B. Interfaces Utilisateur

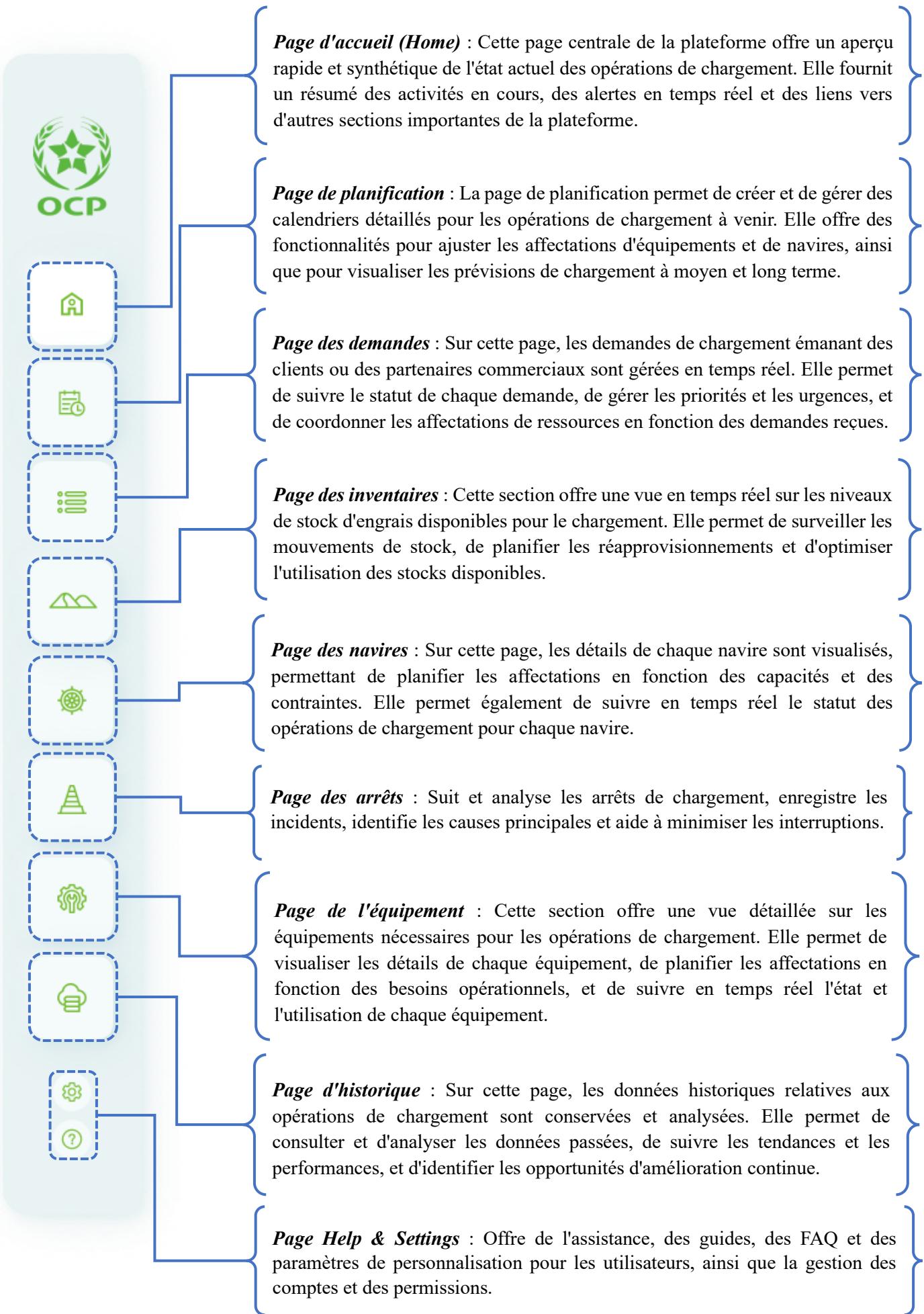
Chaque page de la plateforme est structurée en deux parties principales : une ***barre de navigation à gauche*** et ***le contenu principal à droite***. La barre de navigation permet d'accéder facilement aux différentes sections de la plateforme. Le contenu principal est généralement divisé en trois sections distinctes :

- 1. Indicateurs de performance** : Ces indicateurs sont spécifiques à chaque type de page et fournissent un aperçu rapide des métriques clés et de l'état actuel des opérations.
- 2. Graphiques** : Les données importantes sont présentées de manière visuelle et claire, facilitant ainsi la compréhension et l'analyse rapide des informations.
- 3. Tableaux** : Cette section contient des listes détaillées de données, offrant une vue complète et organisée des informations pertinentes.

Les interfaces de chaque page sont conviviales et conçues pour résumer un maximum d'informations, permettant ainsi un suivi optimal des opérations. Cette structure permet une navigation intuitive et une visualisation efficace des données, soutenant ainsi une gestion optimale des opérations.

### a. Barre De Navigation

La barre de navigation à gauche contient les liens vers les différentes pages de la plateforme, facilitant ainsi un accès rapide et intuitif aux sections essentielles. Les pages disponibles dans cette barre de navigation incluent : Accueil, Planification, Demandes, Inventaires, Navires, Équipement, Arrêts, Historique, ainsi que Help & Settings.



## b. Pages De Platform

### 1. Page De Connexion

La page de connexion est la passerelle d'accès essentielle pour chaque utilisateur de notre plateforme. Conçue pour garantir la sécurité et la personnalisation de l'expérience utilisateur, elle offre un point d'entrée unique où les utilisateurs peuvent saisir leurs informations d'identification, telles que leur identifiant utilisateur et leur mot de passe. C'est le premier point de contact où les systèmes d'authentification vérifient les informations fournies par l'utilisateur pour autoriser l'accès à la plateforme.

Une fois connectés, les utilisateurs sont redirigés vers des interfaces spécifiques en fonction de leur profil et des autorisations qui leur sont accordées. Cette personnalisation de l'expérience utilisateur garantit que chaque individu accède uniquement aux fonctionnalités et aux données pertinentes à son rôle ou à ses responsabilités. Grâce à cette approche, nous maintenons un environnement sécurisé tout en offrant une expérience utilisateur fluide et efficace.

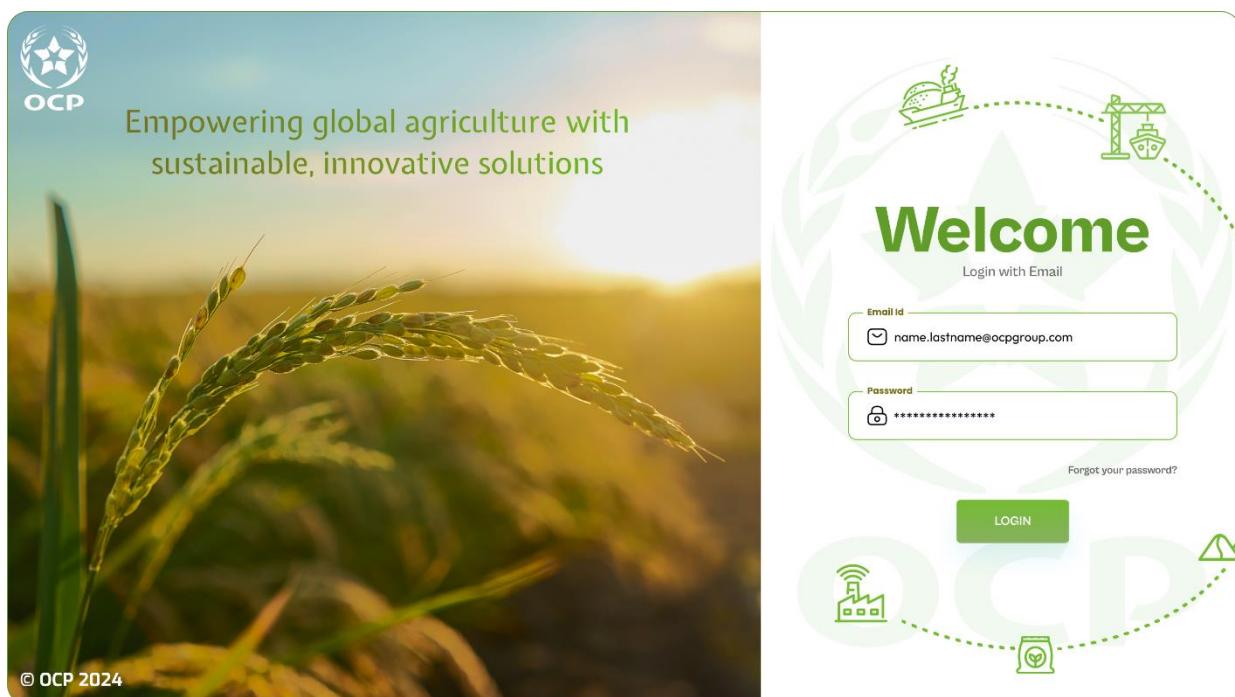


Figure 29 : Page de login du platform de suivi

### 2. Page D'accueil (Home)

La page d'accueil (Home) est la première page que le manager visualise pour obtenir une idée précise du déroulement des processus, elle doit donc contenir un maximum d'informations. Elle est divisée en plusieurs sections pour un suivi optimal des opérations en

temps réel. Elle offre une vue d'ensemble claire et concise des activités courantes et des performances globales.

Les sections principales incluent :

#### ✚ *Suivi des opérations en temps réel*

Cette section offre une surveillance en temps réel de l'état des opérations, fournissant une visibilité immédiate sur le déroulement des activités de chargement et de logistique par quai. Les couleurs de fond indiquent le type de stock alimentant l'engrais, tandis que la couleur des navires représente l'état du quai (chargement, inactif, arrêt planifié, etc.).

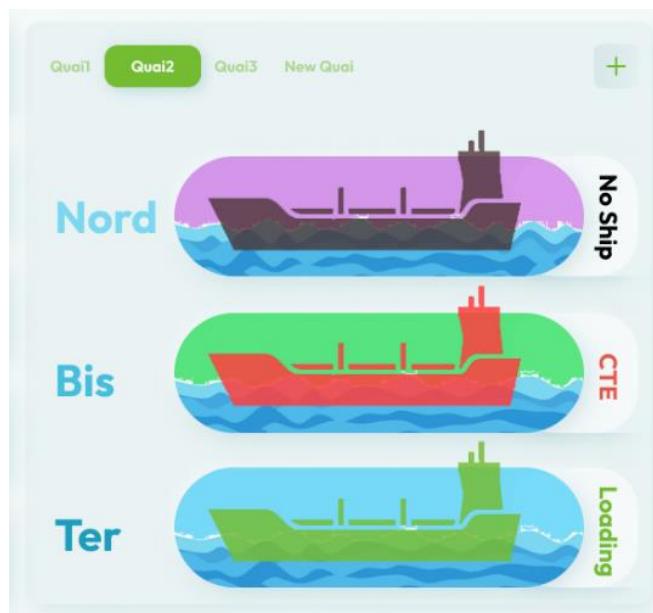


Figure 30 : Section de suivi des opérations des navires par Quai

#### ✚ *Les indicateurs de performance*

##### 1. Total des engrains expédiés (Total Shipped Fertilizers)

- **Formule** : Somme des quantités d'engrais expédiées sur une période donnée.
- **Description** : Cet indicateur mesure la quantité totale d'engrais expédiée depuis le début de la période considérée (journée, semaine, mois, etc.).
- **Objectif** : Suivre la performance globale des opérations de chargement et assurer que les objectifs de volume expédié sont atteints.

##### 2. Taux d'occupation des portiques de chargement (Loading Crane Utilization Rate)

- **Formule** :  $\frac{\text{Temps de fonctionnement des portiques}}{\text{Temps total disponible}} * 100(\%)$
- **Description** : Cet indicateur mesure le pourcentage de temps pendant lequel les portiques de chargement sont utilisés par rapport au temps total disponible.

- **Objectif** : Maximiser l'utilisation des portiques de chargement pour améliorer l'efficacité et réduire les temps d'inactivité.

### **3. Rupture de stock (Stockout Rate)**

- **Formule** :  $\frac{\text{Nombre de fois où il y a eu rupture de stock}}{\text{Total des occasions de stockage}} * 100(\%)$
- **Description** : Cet indicateur mesure la fréquence des ruptures de stock d'engrais.
- **Objectif** : Minimiser les ruptures de stock pour assurer une disponibilité continue des produits et éviter les interruptions de chargement.

### **4. Demandes satisfaites (Satisfied Requests)**

- **Formule** :  $\frac{\text{Nombre de demandes satisfaites}}{\text{Nombre total de demande}} * 100(\%)$
- **Description** : Cet indicateur mesure le pourcentage de demandes de chargement qui ont été satisfaites par rapport au nombre total de demandes reçues.
- **Objectif** : Assurer un haut niveau de satisfaction des demandes pour maintenir un bon service client et une gestion efficace des ressources.

### **5. Taux de précision de prélèvement (Picking Accuracy Rate)**

- **Formule** :  $\frac{\text{Nombre de prélèvements corrects}}{\text{Nombre total de prélèvements}} * 100(\%)$
- **Description** : Cet indicateur mesure la précision des opérations de prélèvement des engrais avant chargement.
- **Objectif** : Améliorer la précision des opérations de prélèvement pour réduire les erreurs et garantir la qualité des expéditions.

### **6. Vitesse moyenne nette de chargement (Average Net Loading Rate)**

- **Formule** :  $\frac{\text{Quantité totale chargée(en tonnes)}}{\text{Temps total de chargement(en heures)}} * 100(\%)$
- **Description** : Cet indicateur mesure la quantité moyenne d'engrais chargée par heure.
- **Objectif** : Optimiser la vitesse de chargement pour augmenter l'efficacité opérationnelle et réduire les délais de chargement.

### **7. Délai de livraison (Lead Time)**

- **Formule** : Temps écoulé entre la réception d'une demande et la fin du chargement.
- **Description** : Cet indicateur mesure le temps total nécessaire pour répondre à une demande de chargement, de la réception à l'achèvement.
- **Objectif** : Réduire le délai de livraison pour améliorer la réactivité et la satisfaction client.

### **Graphiques**

Cette section présente des graphiques qui visualisent les données critiques de manière compréhensible. Les graphiques incluent :



Figure 32 : Quantité exportée vs la prévision



Figure 31 : Niveaux des stocks (par stock)



Figure 34 : Arrêts totaux (par Quai)

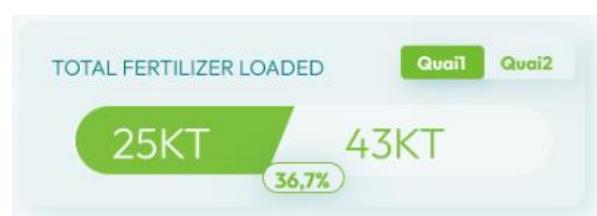


Figure 33 : Prévision journalière vs la quantité chargée ce jour jusqu'à maintenant (par Quai)

#### ⊕ Informations sur la planification de chargement du navire sélectionné

Cette section présente les détails de la planification de chargement pour le navire sélectionné dans la première section. Elle offre des informations telles que les commandes en cours de traitement (qualité, quantité, quai de chargement), le nom du navire, la date d'arrivée prévue, ainsi qu'un état actualisé de l'avancement du chargement. Pour accéder à un plan détaillé du chargement, cliquez sur le bouton avec le point d'interrogation pour obtenir plus d'informations.

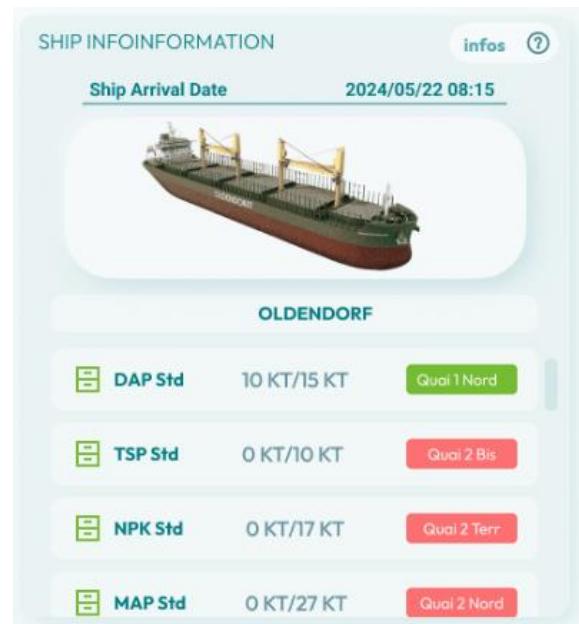


Figure 35 : Carte des demandes de navire OLDENDORF



Figure 36 : Page d'accueil de platform de suivi

### 3. Page Des Demandes

La page des Demandes est un élément clé de notre plateforme, offrant une vue détaillée et organisée de toutes les demandes de chargement en attente ou en cours. Cette page est divisée en trois sections principales :

#### ⊕ *Tableau des Demandes*

Ce tableau présente les détails de chaque demande, y compris l'identifiant, le nom du client, le navire, la date de la demande, la qualité et la quantité demandées, ainsi que le statut actuel de la demande. Il offre des fonctionnalités avancées telles que la recherche, le filtrage, le tri et différents modes d'affichage pour faciliter la gestion et le suivi des demandes.

The screenshot shows a table titled 'Tableau des demandes des cleints'. The table has columns: ID, Customer Name, Ship, Date Request, Quality, Quantity, and Status. The data is as follows:

ID	Customer Name	Ship	Date Request	Quality	Quantity	Status
#68412	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	MAP Std	25 KT	Complete
#68413	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	TSP Std	20 KT	Pending
#68414	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	NPK Std	20 KT	Loading
#68415	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	MAP Std	24 KT	Complete
#68416	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	MAP Std	33 KT	Complete
#68417	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	NPK Std	17 KT	Complete
#68418	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	TPS Std	13 KT	Pending
#68419	Jane Cooper	ATLASIAN HEART	2024.05.06	TSP Std	25 KT	Pending

Showing data 1 to 8 of 256K entries

Figure 37 : Tableau des demandes des cleints

#### ⊕ *Plan de Chargement de chaque Demande*

Cette section affiche le plan de chargement détaillé pour chaque demande sélectionnée, fournissant un aperçu du processus de chargement, y compris le nom du navire et la séquence des opérations liées au chargement de la demande.

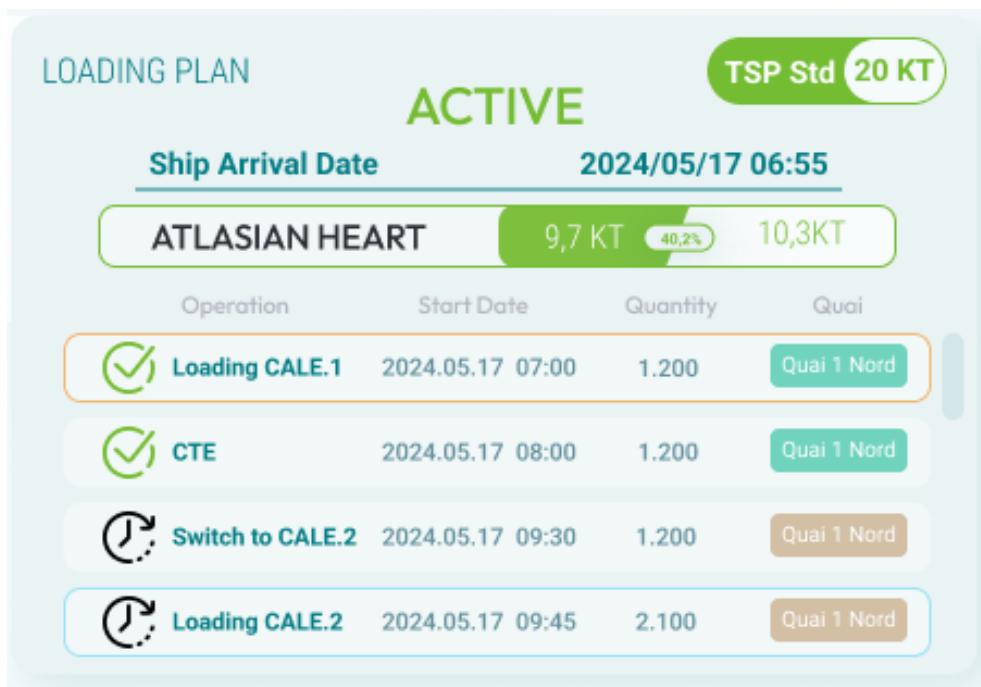


Figure 38 : Section de plan de chargement de demande sélectionné

#### Graphiques Résumant le Statut des Demandes

Ces graphiques offrent une visualisation claire et concise du statut des demandes, permettant une analyse rapide et une prise de décision éclairée. Ils présentent des informations telles que le nombre de demandes par statut et l'évolution des demandes au fil du temps.



Figure 39 : Graph des quantités des qualités demandées vs disponible



Figure 40 : Graph de statut des demandes

#### Indicateurs

##### 1. Nombre Total de Demandes

- Formule :** Nombre total de demandes enregistrées dans le système.
- Description :** Cet indicateur donne une vue d'ensemble du volume total de demandes de chargement reçues par l'entreprise sur une période donnée.

- **Objectif** : Suivre la charge de travail globale et évaluer la demande de services de chargement, permettant une planification appropriée des ressources et des opérations.

### **2. Temps Moyen de Traitement des Demandes**

- **Formule** : 
$$\frac{\sum \text{temp de traitement du demande}}{\text{Nombre total de demandes traitées}}$$
- **Description** : Cet indicateur calcule le temps moyen nécessaire pour traiter une demande de chargement depuis sa réception jusqu'à sa satisfaction.
- **Objectif** : Évaluer l'efficacité et la rapidité du processus de traitement des demandes, permettant d'identifier les goulots d'étranglement et d'améliorer les performances opérationnelles.

### **3. Temps Moyen de Délai en Cas de Retard**

- **Formule** : 
$$\frac{\sum \text{delai du demande}}{\text{Nombre total de demandes traitées en retard}}$$
- **Description** : Cet indicateur mesure le temps moyen de retard des demandes qui n'ont pas été satisfaites dans le délai prévu.
- **Objectif** : Assurer le respect des délais de service et améliorer la satisfaction client.

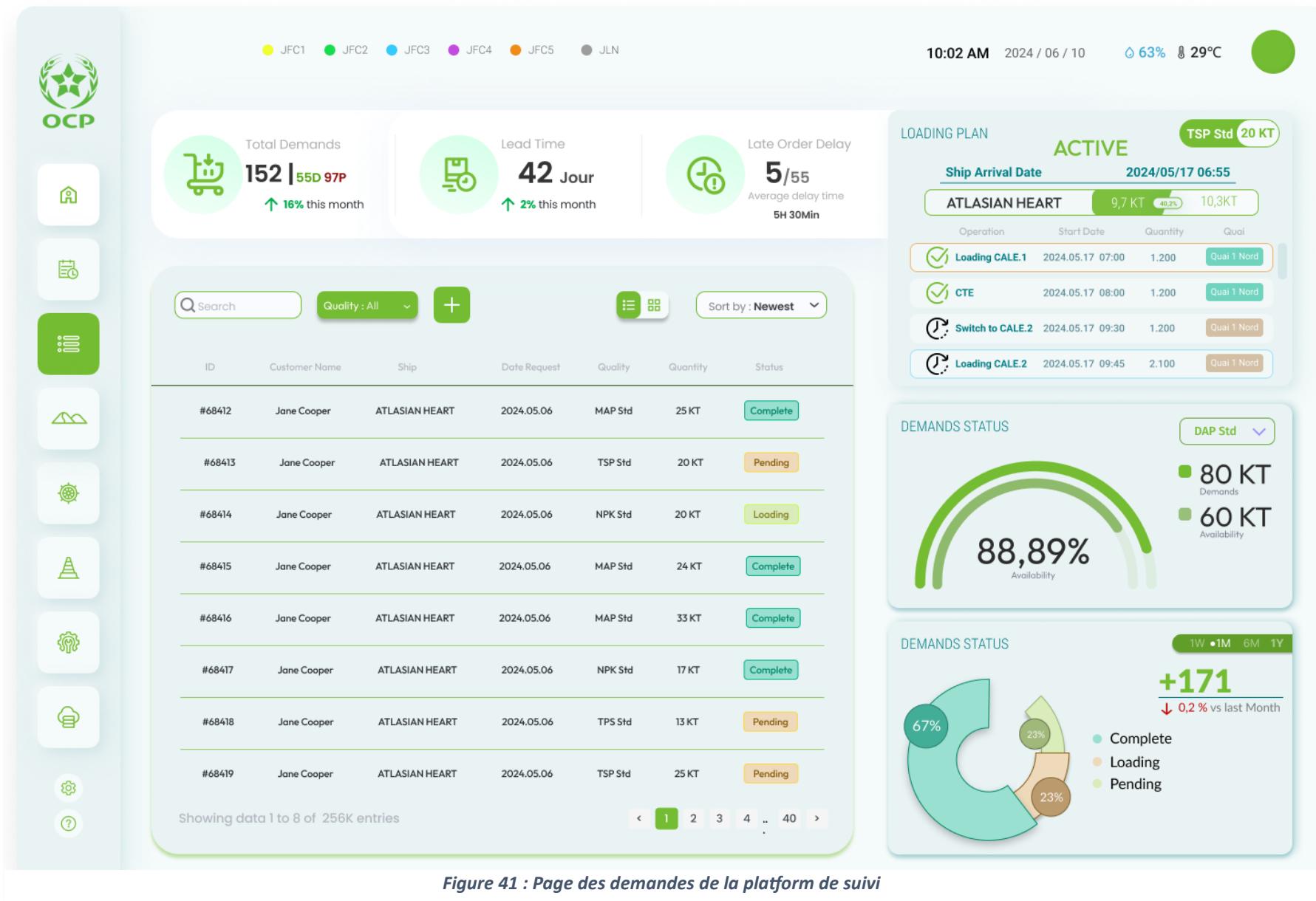


Figure 41 : Page des demandes de la plateforme de suivi

## 4. Page Des Arrêts

La page des Arrêts offre une vue détaillée et organisée de tous les arrêts survenus dans le processus de chargement, permettant une analyse approfondie des temps d'arrêt et de leur impact sur la productivité. Cette page est divisée en trois sections principales :

### **Tableau des Arrêts**

Le tableau des arrêts répertorie tous les arrêts survenus, avec des détails tels que la cause, la nature, le type, le poste concerné, l'axe, le quai, le navire, la qualité, le hangar, la date de début et de fin. Cette liste fournit une vue détaillée de chaque arrêt pour une analyse approfondie.

### **Indicateurs des Arrêts**

#### 1. Total des Arrêts :

- **Formule :** Nombre total d'arrêts enregistrés dans le système.
- **Description :** Cet indicateur donne le nombre total d'arrêts survenus dans le processus de chargement, qu'ils soient planifiés ou non.
- **Objectif :** Permettre une évaluation globale de la fréquence des arrêts et de leur impact sur la continuité des opérations, aidant à identifier les domaines à améliorer pour réduire les temps d'arrêt.

#### 2. Durée Moyenne d'Arrêt :

- **Formule :** 
$$\frac{\text{Somme de la durée de tous les arrêts}}{\text{Nombre total d'arrêts}}$$
- **Description :** Cet indicateur calcule la durée moyenne de tous les arrêts enregistrés, fournissant une indication de la durée typique d'un arrêt.
- **Objectif :** Évaluer l'impact des arrêts sur la disponibilité des équipements et des ressources, permettant d'identifier les opportunités d'amélioration pour réduire les temps d'arrêt.

#### 3. Temps d'Arrêt Opérationnel :

- **Formule :** Temps total d'arrêt de toutes les opérations - Temps total d'arrêt des arrêts planifiés.
- **Description :** Cet indicateur mesure le temps total d'arrêt affectant les opérations de chargement, en excluant les arrêts prévus ou planifiés.
- **Objectif :** Identifier les arrêts imprévus ou non planifiés qui impactent directement la productivité opérationnelle, permettant de prendre des mesures correctives pour minimiser les temps d'arrêt non nécessaires.

Informations d'Arrêt Sélectionné	Graphiques Résumant les Arrêts																																																								
<p>Cette section offre des informations supplémentaires sur l'arrêt sélectionné, permettant une compréhension approfondie de ses caractéristiques spécifiques telles que la cause, la nature, le type, etc</p>	<p>Ces graphiques offrent une visualisation claire et concise des arrêts sur une base hebdomadaire, mensuelle et annuelle, permettant une analyse des tendances et des schémas d'arrêts.</p>																																																								
<p><b>STOP DETAILS</b></p> <p>#P202405170655      <b>Planned</b></p> <table border="1" data-bbox="190 673 698 1100"> <tbody> <tr> <td>ID</td> <td colspan="3">#P202405170655</td> </tr> <tr> <td>CAUSE</td> <td colspan="3">CTE</td> </tr> <tr> <td>NATURE</td> <td colspan="3">CP/F</td> </tr> <tr> <td>TYPE</td> <td colspan="3">PLANNED</td> </tr> <tr> <td>POST</td> <td>3</td> <td>AXE</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>SHIP</td> <td colspan="3">ALEXANDER III</td> </tr> <tr> <td>QUALITY</td> <td>DAP EURO</td> <td>HALL</td> <td>HEO3</td> </tr> <tr> <td>DATE</td> <td colspan="3">11.05.2024 15:15 11.05.2024 15:25</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Figure 42 : Détails d'arrêt sélectionné</b></p>	ID	#P202405170655			CAUSE	CTE			NATURE	CP/F			TYPE	PLANNED			POST	3	AXE	2	SHIP	ALEXANDER III			QUALITY	DAP EURO	HALL	HEO3	DATE	11.05.2024 15:15 11.05.2024 15:25			<p><b>STOPS</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Day</th> <th>Planned (Green)</th> <th>Unplanned (Red)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mon</td> <td>~170</td> <td>~80</td> </tr> <tr> <td>Tue</td> <td>~35</td> <td>~115</td> </tr> <tr> <td>Wed</td> <td>~5</td> <td>~180</td> </tr> <tr> <td>Thu</td> <td>~75</td> <td>~35</td> </tr> <tr> <td>Fri</td> <td>~75</td> <td>~135</td> </tr> <tr> <td>Sat</td> <td>~120</td> <td>~90</td> </tr> <tr> <td>Sun</td> <td>~90</td> <td>~60</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Figure 43 : Histogramme des arrêts par semaine</b></p>	Day	Planned (Green)	Unplanned (Red)	Mon	~170	~80	Tue	~35	~115	Wed	~5	~180	Thu	~75	~35	Fri	~75	~135	Sat	~120	~90	Sun	~90	~60
ID	#P202405170655																																																								
CAUSE	CTE																																																								
NATURE	CP/F																																																								
TYPE	PLANNED																																																								
POST	3	AXE	2																																																						
SHIP	ALEXANDER III																																																								
QUALITY	DAP EURO	HALL	HEO3																																																						
DATE	11.05.2024 15:15 11.05.2024 15:25																																																								
Day	Planned (Green)	Unplanned (Red)																																																							
Mon	~170	~80																																																							
Tue	~35	~115																																																							
Wed	~5	~180																																																							
Thu	~75	~35																																																							
Fri	~75	~135																																																							
Sat	~120	~90																																																							
Sun	~90	~60																																																							

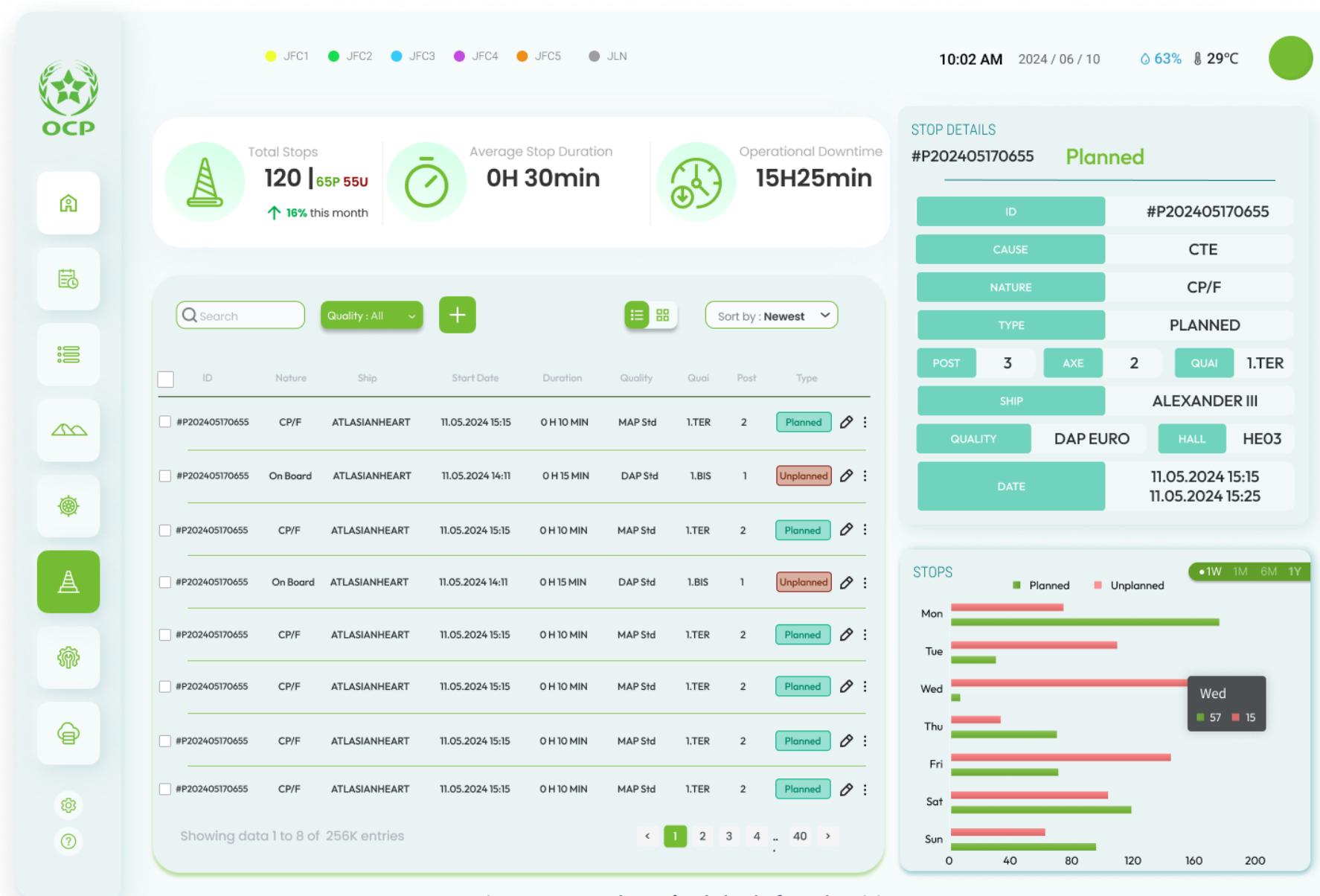


Figure 44 : Page des arrêts de la plateform de suivi

## 5. Page Des Navire

Cette interface de gestion des navires fournit un aperçu des indicateurs clés de performance (KPI) et des détails opérationnels pour les navires. Les principales fonctionnalités incluent :

- **Indicateurs :**

- Temps de rotation moyen des navires.
- Nombre total de navires servis.
- Taux d'utilisation des installations de chargement.

- **Compatibilité des navires :**

Filtres permettant de visualiser les navires en fonction de leur compatibilité avec différents quais ou stations de chargement.

- **Liste des navires :**

Liste des navires consultable et triable, incluant leur statut, les noms des clients, les dates d'arrivée et les capacités.

- **Plan de chargement :**

Plan de chargement actif pour le navire sélectionné, détaillant les opérations, les quantités et les emplacements des quais.

- **Informations sur le navire :**

- Diagrammes montrant les **dimensions** du navire et les sections de chargement.
- **Position** et statut **actuels** des navires (API [marinetraffic](#)).

Cette interface offre une vue centralisée pour gérer les opérations des navires, surveiller les performances et planifier la logistique.

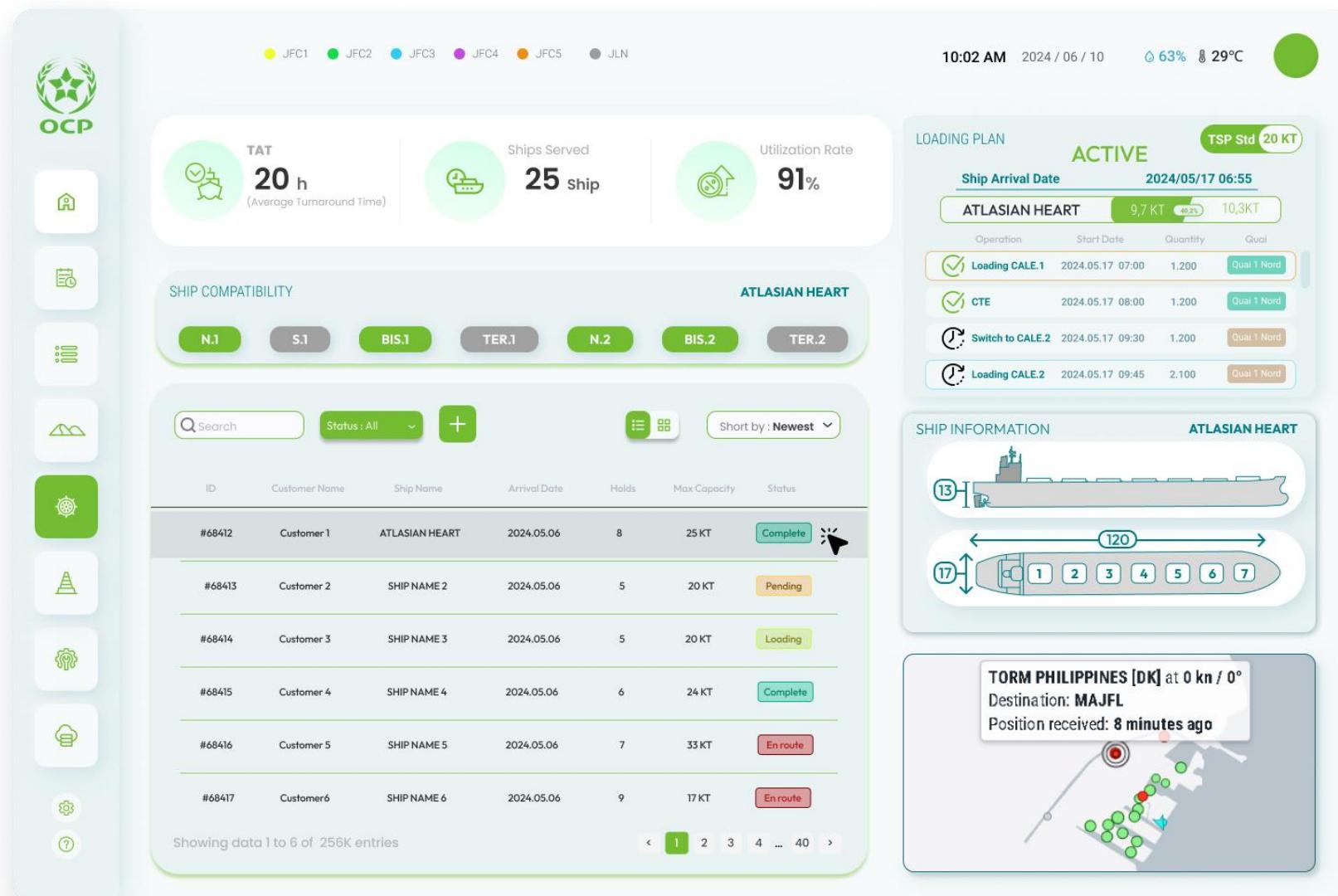


Figure 45 : Page Des Navires de la platform de suivi

## 6. Page De Planification

Cette page de planification est utilisée pour organiser les activités portuaires en déterminant où (quai) et quand (intervalle de temps) les navires seront chargés, ainsi que par quel axe (AXE P et AXE U) et quelle qualité. Les principales fonctionnalités incluent :

- **Planification des Navires :**

- **Où (Quai)** : La planification montre les quais disponibles pour le chargement des navires (N.1, S.1, BIS.1, TER.1, N.2, etc.).
- **Quand (Intervalle de Temps)** : La planification horaire présente les créneaux de temps de 07:00 à 07:00 du jour suivant pour chaque quai.

- **Axe et Qualité :**

Les opérations de chargement sont détaillées par axe (**AXE P** et **AXE U**) et par qualité de la marchandise.

- **Gestion des Opérations :**

- **Ajout de Nouvelle Opération** : Le gestionnaire logistique peut ajouter de nouvelles opérations de chargement ou d'arrêt en spécifiant les attributs nécessaires (navire, qualité, stock, axe, date de début, date de fin, charge initiale).
- **Modification et Suppression** : Le gestionnaire peut également modifier ou supprimer des opérations existantes.

Cette interface est essentielle pour une gestion efficace et coordonnée des activités portuaires, permettant une planification précise et flexible des chargements de navires.



JFC1 JFC2 JFC3 JFC4 JFC5 JLN

10:02 AM 2024 / 06 / 10 63% 29°C

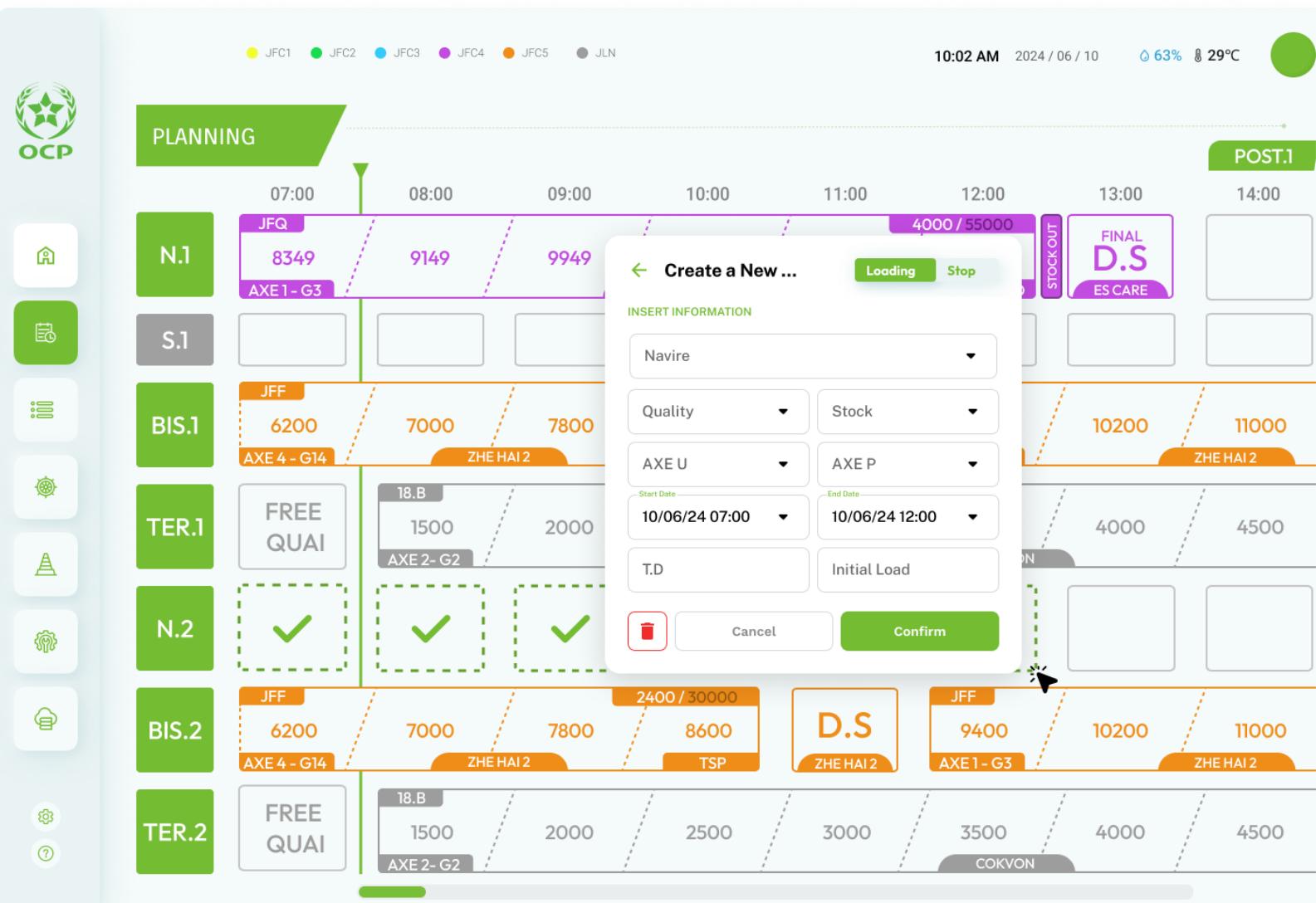


Figure 46 : Page de Planification

## 6. Développement & Déploiement

La phase de développement de la nouvelle plateforme de gestion de la chaîne d'approvisionnement se concentre sur la réalisation technique des spécifications définies lors de la conception. Cette étape implique plusieurs activités essentielles, allant de la sélection des technologies appropriées à la mise en œuvre et aux tests rigoureux des fonctionnalités.

### A. Sélection Des Technologies

La sélection des technologies est cruciale pour assurer la robustesse, la scalabilité et la sécurité de la plateforme. Les technologies suivantes ont été choisies pour répondre aux exigences du projet :

- **Backend** : Utilisation de frameworks Django (Python) pour la gestion des services backend, offrant une structure solide pour le développement d'**API RESTful**.
- **Frontend** : Frameworks JavaScript modernes tels que **React.js** pour une interface utilisateur réactive et dynamique.
- **Base de Données** : Bases de données relationnelles comme **PostgreSQL** pour la gestion des données transactionnelles et bases de données **NoSQL** comme **MongoDB** pour les données non structurées.
- **Sécurité** : Mise en œuvre de protocoles de sécurité robustes **OAuth2** pour l'authentification et l'autorisation, et **SSL/TLS** pour le chiffrement des communications.

### B. Développement Des Modules Fonctionnels

Le développement est organisé en différents sprints, chacun se concentrant sur la création et l'intégration des modules fonctionnels définis dans la phase de conception.

Le développement des modules fonctionnels débutera par la création des composants de base, tels que **les classes**. Ensuite, nous passerons à **la création des pages** dans **l'ordre** suivant : Équipement, Stocks, Demandes, Navires, Paramètres, Arrêts, Planification, et enfin Accueil. Pour chaque page, nous commencerons par implémenter **les tableaux**, suivis des **graphiques** et des **cartes d'information**.

Les **indicateurs** seront ajoutés en dernier, car ils nécessitent des informations supplémentaires provenant des autres pages. La **dernière page** à être développée sera la page **Accueil**, car elle résume les informations de toutes les pages de la plateforme, nécessitant ainsi que toutes les autres pages soient déjà réalisées.

## C. Tests Et Validation

Les tests sont une composante essentielle du développement pour garantir la qualité et la fiabilité de la plateforme.

1. **Tests Unitaires** : Chaque module est soumis à des tests unitaires rigoureux pour vérifier la fonctionnalité de chaque composant individuellement.
2. **Tests d'Intégration** : Les interactions entre les différents modules sont testées pour assurer une intégration fluide et sans erreurs.
3. **Tests de Performance** : La plateforme est testée pour s'assurer qu'elle peut gérer des charges de travail élevées et rester performante sous pression.
4. **Tests de Sécurité** : Des tests de pénétration et des audits de sécurité sont réalisés pour identifier et corriger les vulnérabilités potentielles.

## D. Déploiement

Le déploiement de la plateforme se fera en plusieurs étapes afin de minimiser les interruptions et d'assurer une transition en douceur. Chaque module fonctionnel sera déployé de manière incrémentale et testé individuellement avant d'être mis en production. Les étapes de déploiement incluent :

### 1. Préparation de l'Environnement :

- **Serveurs** : Configuration des serveurs via **Docker** pour la **conteneurisation** et **Kubernetes** pour **l'orchestration**.
- **Bases de Données** : Utilisation de bases de données relationnelles **PostgreSQL**, avec des outils de gestion **pgAdmin**.
- **Infrastructure** : Utilisation de services cloud tels que **AWS** pour l'hébergement et le stockage.

### 2. Déploiement des Modules :

- Déploiement des modules en utilisant des pipelines **CI/CD** (Intégration Continue/Déploiement Continu) via des **Jenkins**.
- Chaque module sera déployé dans **l'ordre de développement**, en commençant par **Équipement** et en terminant par **Accueil**.

### 3. Tests d'Intégration :

- Après chaque déploiement, des **tests d'intégration** seront effectués pour s'assurer que le module fonctionne correctement avec les autres composants du système.
- Utilisation d'outil **Selenium** pour **automatisés les tests d'intégration**.

#### **4. Migration des Données :**

- Les **données des anciennes** applications seront **migrées** vers la nouvelle plateforme à l'aide de scripts de migration et d'outils **Apache NiFi**.
- Cette étape nécessitera une planification minutieuse pour éviter la perte de données.

#### **5. Formation des Utilisateurs :**

- Des sessions de formation seront organisées pour familiariser les utilisateurs avec la nouvelle plateforme. Cela peut inclure des webinaires, des sessions en présentiel, et des guides d'utilisation.
- La génération des **comptes pour les acteurs** (Email ; code) sera effectuée pour assurer un accès sécurisé et personnalisé à la plateforme.

#### **6. Mise en Production :**

- **Surveillance continue** via l'outil **Prometheus** pour le **monitoring**, et **ELK Stack** (Elasticsearch, Logstash, Kibana) pour **l'analyse des logs**.

## **7. Étude Financière**

### **A. Coûts De Développement**

#### **a. Types De Développeurs (Selon Glassdoor.Com)**

- Développeurs Frontend : Responsables de la création de l'interface utilisateur et de son interaction avec les utilisateurs. Salaire moyen mensuel par développeur : 16 000 MAD.
- Développeurs Backend : Chargés de la mise en place des fonctionnalités et de la logique métier de la plateforme. Salaire moyen mensuel par développeur : 19 050 MAD.
- Ingénieur DevOps : Responsable de la configuration des serveurs et de l'automatisation des déploiements. Salaire moyen mensuel : 21 500 MAD.

#### **b. Développeurs Et Types De Développeurs**

Nombre de Développeurs : Selon l'ampleur du projet et les délais, le nombre de développeurs nécessaires peut varier. Pour une estimation, considérons une équipe de développement comprenant :

- 2 développeurs frontend
- 3 développeurs backend
- 1 ingénieur DevOps pour la configuration des serveurs et le déploiement.

### c. Coût Total Des Développeurs :

- Développeurs Frontend ( $2 * 67\ 200 \text{ MAD}$ ) = 134 400 MAD
- Développeurs Backend ( $3 * 80\ 000 \text{ MAD}$ ) = 240 000 MAD
- Ingénieur DevOps (90 000 MAD) = 90 000 MAD

**Coût Total des Développeurs = 464 400 MAD**

### B. Coûts De Maintenance :

Les coûts de maintenance d'un platform web peuvent varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs tels que **la taille, la complexité et les mises à jour nécessaires**.

Coût Annuel de Maintenance : Après une discussion avec **les experts** concernant la maintenance de notre plateforme, nous avons **estimé** ce coût à **20 % du coût total** des développeurs. Cette estimation couvre les **mises à jour, le support technique et la résolution des problèmes**.

**Coût Annuel de Maintenance = 20% \* 464 400 MAD = 92 880 MAD**

## Conclusion

Dans cette section, nous avons élaboré une planification générale de la plateforme de suivi, en commençant par l'analyse des besoins jusqu'à l'étude financière. Cette plateforme est essentielle pour améliorer la fluidité et le contrôle du système. La capacité de transfert des données en temps réel aide à prendre des décisions informées et opportunes. De plus, la centralisation de toutes les applications au sein d'une seule plateforme améliore la compréhension globale de la chaîne d'exportation, contribuant ainsi à des opérations plus efficaces et rationalisées.

## Section III : Planification des opérations logistique

### Introduction

Après avoir établi un système de suivi pour les opérations, les stocks et les demandes des navires, il est impératif de passer à la planification journalière des opérations de chargement. Cette étape est cruciale pour assurer la fluidité et l'efficacité des activités portuaires. Chaque jour, à 7 heures du matin, une réunion réunit tous les acteurs impliqués : les agents de maintenance, les gestionnaires de stocks, les opérateurs des lignes de production et les responsables de la production. L'objectif de cette réunion est de coordonner les actions et d'établir un plan de chargement optimal pour les 24 heures à venir.

Dans cette section, nous allons modéliser le problème de planification journalière et le résoudre en utilisant un moteur de résolution. Notre première planification doit tenir compte de la diversité des paramètres et des contraintes propres aux opérations portuaires. Toutefois, cette planification initiale servira de base ajustable en fonction de l'expérience des équipes et des imprévus tels que les arrêts non planifiés des portiques, des stocks ou des convoyeurs. La solution doit être dynamique et adaptable, capable d'incorporer de nouvelles contraintes en cas de besoin.

### 1. Critères De Classification Des Problèmes De Planification :

- **Type d'approche de modélisation :** L'approche déterministe suppose que toutes les données nécessaires à la résolution des problèmes sont connues précisément, sur un horizon de planification divisé en périodes discrètes. Elle attribue aux produits une capacité à chaque période tout en satisfaisant un ensemble de contraintes.
- **Nature de la demande :** La demande est un paramètre crucial dans la planification de la production. Si les niveaux de la demande sont connus exactement, on parle de demande déterministe. Dans notre contexte, les demandes mensuelles des clients sont générées à partir du système commercial (utilisant SAP), ce qui constitue une demande mensuelle fixe. Notre objectif est d'arriver à une planification optimale basée sur les paramètres liés à la planification journalière.
- **Approche de résolution :** Différentes techniques de recherche opérationnelle sont utilisées pour résoudre les problèmes de planification. On distingue les approches exactes et les méthodes approchées. Les approches exactes fournissent une solution optimale, tandis que les méthodes approchées donnent des solutions acceptables dans

un temps raisonnable. Nous **utiliserons** une **approche exacte** basée sur la programmation linéaire mixte (**MILP**).

- **Nombre de produits** : La complexité de la planification dépend également du nombre de produits à prendre en compte. Nous distinguons les modèles mono-produit, où la production est prévue pour un seul produit final, des modèles multi-produits, qui fournissent la planification de la production de plusieurs articles. Dans notre cas, l'OCP produit quatre familles d'engrais (TSP, MAP, DAP, NPK) ainsi que du phosphate brut et de l'ASP.

La compatibilité entre les stocks et les différents types d'engrais est un autre aspect de la planification. Le tableau suivant montre quelles familles d'engrais peuvent être stockées dans chaque emplacement de stockage, ce qui permet de déterminer la distribution optimale des engrais en fonction des capacités et des exigences spécifiques de chaque type d'engrais.

*Tableau 5 : Compatibilité entre les stocks et les Qualités d'engrais*

Famille	Nombre des Qualités	HE01	HE02	HE03	HE04	HE05	HE06	18A	18B	18C	JFO	JFD	JFT	JFQ	JFF	Phosphate Stock
NPK	29	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAP	18	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0
DAP	18	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	Std	0	0	0
TSP	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
ASP	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	Std	0	0	0
Phos	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Pour garantir une planification efficace et éviter les incompatibilités opérationnelles, il est essentiel de connaître la compatibilité entre les portiques et les stocks. Le tableau ci-dessous présente les compatibilités des différents portiques avec les stocks disponibles, permettant de s'assurer que chaque portique peut accéder aux stocks appropriés en fonction de leur emplacement et de leurs capacités.

Tableau 6 : Compatibilité entre les portiques et les stocks

	<b>HE01</b>	<b>HE02</b>	<b>HE03</b>	<b>HE04</b>	<b>HE05</b>	<b>HE06</b>	<b>18A</b>	<b>18B</b>	<b>18C</b>	<b>JFO</b>	<b>JFD</b>	<b>JFT</b>	<b>JFQ</b>	<b>JFF</b>
<b>AXE 1</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<b>AXE 2</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<b>AXE 3</b>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>AXE 4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
<b>AXE 5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
<b>AXE 6</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 2. Modélisation Mathématique :

### A. Notations

Les symboles et abréviations introduits et employés dans ce chapitre revêtent diverses natures. Nous les catégorisons en ensembles, paramètres et variables.

#### a. Paramètres

Les paramètres incluent des éléments relatifs au processus logistique d'exportation ainsi que ceux permettant de représenter la configuration initiale. Ainsi, nous définissons :

- ( $s_{s,u}$ ): Quantité d'*engrais de qualité (U)* stockée dans le stock (*S*).
  - ( $v_{s,p}$ ): Débit de transfert d'*engrais du stock (S) vers de l'axe (P)*.
  - ( $d_{n,u}$ ): Demande de la navire (*N*) en qualité (*U*) d'*engrais*.
- Indicateur binaire
- ( $i_{n,p}$ ): Indicateur de la compatibilité de la navire (*N*) pour être chargée par l'axe(*P*).
  - ( $i_{s,p}$ ): Indicateur de la compatibilité de l'axe (*P*) avec le stock (*S*).
  - ( $m_{p,t}$ ): Indicateur de la disponibilité de l'axe (*P*) pendant l'heure (*T*), 1 si il y'a pas d'arrêt de l'axe *p* au moment *t* et 0 s'il y a un arrêt.
  - ( $m_{s,t}$ ): Indicateur de la disponibilité du stock (*S*) pendant l'heure (*T*), 1 si il y'a pas d'arrêt du stock *s* au moment *t* et 0 s'il y a un arrêt.

#### b. Variables Décisionnelles

Les variables décisionnelles déterminent les actions spécifiques à entreprendre, telles que les quantités d'*engrais à charger*, les stocks et portiques utilisés, et les créneaux horaires affectés. Elles permettent d'optimiser le processus de chargement des navires tout en respectant les contraintes opérationnelles et en répondant aux demandes de manière optimale.

## Indicateur binaire

- $(Q_{n,s,u,p,t})$ : Quantité d'engrais de la qualité ( $U$ ) chargée du stock ( $S$ ) vers le navire ( $N$ ) pendant l'heure ( $T$ ) en utilisant le de l'axe ( $P$ ).
- $(x_{s,p,t})$ : Indicateur d'utilisation de l'axe ( $P$ ) du stock ( $S$ ) pendant l'heure ( $T$ ).
- $(x_{n,p,t})$ : Indicateur d'utilisation de l'axe ( $P$ ) pour charger le navire ( $N$ ) pendant l'heure ( $T$ ).
- $(x_{p,u})$ : Indicateur d'utilisation de l'axe ( $P$ ) pour charger la qualité  $u$  d'engrais.
- $(y_n)$ : Variable binaire indiquant si le navire  $n$  est sélectionné pour être servi aujourd'hui, cette variable sera **imposée** par la direction de la **supply chain**, qui indique les navires prêts à être servis aujourd'hui.

**Note :** Les indicateurs  $x_{s,p,t}$ ,  $x_{n,p,t}$  et  $x_{p,u}$  sont essentiels pour optimiser le nombre de variables, et par conséquent, le nombre de contraintes sera réduit.

## B. Fonction Objectif

La fonction objectif maximise la quantité totale d'engrais chargée, en optimisant l'utilisation des portiques, stocks et créneaux horaires, pour répondre efficacement aux demandes tout en respectant les contraintes.

$$\text{Maximiser} \sum_n \sum_p \sum_s \sum_u \sum_t Q_{n,s,u,p,t}$$

## C. Contraintes Du Modèle De Planification Journalière :

Description détaillée des différentes contraintes du modèle, telles que les contraintes de satisfaction de la demande, les contraintes de capacité, les contraintes de débit de transfert, les contraintes d'arrêt planifié, etc. Chaque type de contrainte est expliqué en détail pour une meilleure compréhension.

### 1) Contraintes De Satisfaction De La Demande

Ces contraintes (1.1) garantissent que la quantité totale demandée  $D_{(n,u)}$  de chaque produit est satisfaite par la planification journalière.

$$\sum_p \sum_s \sum_t Q_{n,s,u,p,t} \geq Y_n \cdot D_{n,u}, \quad \forall t, \forall s, \forall p \quad (1.1)$$

### 2) Contraintes De Capacité

Ces contraintes (1.2) limitent la quantité maximale de produits  $u$  pouvant être manipulée par chaque portique  $p$ , stock  $s$  et navire  $n$  dans une période  $t$ .

$$\sum_n \sum_p \sum_t Q_{n,s,u,p,t} \leq S_{s,u}, \quad \forall n, \forall p, \forall t \quad (1.2)$$

**Objectif** : ne pas excéder la quantité  $S_{(s,u)}$  de l'engrais  $u$  existant dans le stock  $s$ .

### 3) Contraintes De Débit De Transfert

Ces contraintes (1.3) régulent le flux de produits entre les stocks  $s$ , les portiques  $p$  et les navires  $n$ , en tenant compte des débits  $V_{(s,p)}$  de transfert spécifiques pour chaque connexion.

$$\sum_n \sum_u \sum_p Q_{n,s,u,p,t} \leq V_{s,p}, \quad \forall n, \forall u, \forall p \quad (1.3)$$

### 4) Contraintes Des Arrêts Planifiés

Ces contraintes (1.4) et (1.5) réservent des heures spécifiques pour les arrêts planifiés des portiques  $M_{(p,t)}$ , et des stocks  $M_{(s,t)}$ , ce qui peut affecter leur disponibilité pour la planification journalière.

$$Q_{n,s,u,p,t} = Q_{n,s,u,p,t} \cdot M_{p,t}, \quad \forall u, \forall s, \forall n \quad (1.4)$$

$$Q_{n,s,u,p,t} = Q_{n,s,u,p,t} \cdot M_{s,t}, \quad \forall u, \forall p, \forall n \quad (1.5)$$

### 5) Contraintes De Compatibilité

- La contrainte (1.7) assure la liaison compatible  $I_{(s,n)}$  entre les stocks  $s$  et les navires  $n$ .
- La contrainte (1.7) assure la liaison compatible  $I_{(n,p)}$  entre les axes  $p$  et les navires  $n$ .
- La contrainte (1.8) assure la liaison compatible  $I_{(s,u)}$  entre les qualités  $u$  et les stocks  $s$ .
- La contrainte (1.9) assure la liaison compatible  $I_{(p,u)}$  entre les axes  $p$  et les qualités  $u$ .

$$Q_{n,s,u,p,t} = Q_{n,s,u,p,t} \cdot I_{n,p}, \quad \forall s, \forall u, \forall t \quad (1.6)$$

$$Q_{n,s,u,p,t} = Q_{n,s,u,p,t} \cdot I_{s,p}, \quad \forall n, \forall u, \forall t \quad (1.7)$$

$$Q_{n,s,u,p,t} = Q_{n,s,u,p,t} \cdot I_{u,p}, \quad \forall n, \forall s, \forall t \quad (1.8)$$

$$Q_{n,s,u,p,t} = Q_{n,s,u,p,t} \cdot I_{u,s}, \quad \forall n, \forall p, \forall t \quad (1.9)$$

Par exemple Si l'indicateur de compatibilité  $I(p1,s1)$  égal 0 alors, il y a pas de liaison entre l'axe p1 et le stock s1, par conséquent la somme des quantités chargé par l'axe p1 d'après le stock s1 égale 0 tonnes ( $\forall n, \forall u, \forall t \sum_{n,u,t} Q_{n,s,u,p,t} = 0$ ).

## 6) Contraintes De Disponibilité

Ces contraintes garantissent que les stocks, les portiques et les navires nécessaires sont disponibles pour la planification journalière, en tenant compte des heures d'ouverture, des périodes de maintenance et d'autres facteurs temporels.

$$\sum_{n,u} Q_{n,s,u,p,t} \leq X_{s,p,t} \cdot V_{s,p}, \quad \forall n, \forall u \quad (1.10)$$

$$\sum_{s,u} Q_{n,s,u,p,t} \leq X_{n,p,t} \cdot V_{s,p}, \quad \forall s, \forall u \quad (1.11)$$

$$\sum_{s,t} X_{s,p,t} \leq 1, \quad \forall s, \forall t \quad (1.12)$$

$$\sum_{p,t} X_{s,p,t} \leq 1, \quad \forall p, \forall t \quad (1.13)$$

$$\sum_{p,t} X_{n,p,t} \leq 1, \quad \forall p, \forall t \quad (1.14)$$

$$\sum_{n,t} X_{n,p,t} \leq 1, \quad \forall n, \forall t \quad (1.15)$$

- Les contraintes de (1.10) imposent que la quantité  $Q_{(p,s)}$  chargée respecte les valeurs des indicateurs  $I_{(p,s,t)}$  par le stock  $s$  soit alimentée par un seul axe  $p$  au moment  $t$ .
- Les contraintes de (1.11) imposent que la quantité  $Q_{(n,p)}$  chargée respecte les valeurs des indicateurs  $I_{(n,p,t)}$  par le navire  $n$  soit chargée par un seul axe  $p$  au moment  $t$ .
- Les contraintes de (1.12) assurent qu'un axe  $p$  charge un seul navire  $n$  au moment  $t$ .
- Les contraintes de (1.13) assurent que le stock  $s$  alimente un seul axe  $p$  au moment  $t$ .
- Les contraintes de (1.14) assurent que le navire  $n$  soit chargé par un seul axe  $p$  au moment  $t$ .
- Les contraintes de (1.15) assurent qu'un axe  $p$  charge un seul navire au moment  $t$ .

## 7) Contraintes Logiques De Non-Changement Des Hangars De Stockage

Les contraintes (1.16) spécifient que la qualité des produits dans un hangar de stockage donné ne peut pas être changée pendant la planification journalière, sauf en cas de **demande explicite** ou de **besoin opérationnel** (stock épuisé).

$$\sum_t Q_{n,s,u,p,t} \leq D_{n,u} \cdot X_{n,p,t}, \quad \forall t \quad (1.16)$$

## 8) Contraintes De Non-Négativité

Les contraintes (1.17) à (1.20) de non-négativité garantissent que toutes les variables de notre modèle de planification restent **positives** ou **nulles**. Cela inclut la quantité d'engrais chargée, la quantité stockée, le débit de transfert, et la demande des navires. Les contraintes (1.21) à (1.25) garantissent que toutes les variables sont *entières* dans le domaine spécifié.

- $Q_{n,s,u,p,t} \geq 0, \quad \forall n, \forall p, \forall s, \forall u, \forall t$  (1.17)

- $S_{s,u} \geq 0, \quad \forall s, \forall u$  (1.18)

- $V_{s,p} \geq 0, \quad \forall s, \forall p$  (1.19)

- $D_{n,u} \geq 0, \quad \forall n, \forall u$  (1.20)

- $n \in \{1, 2, \dots, N\}$  (1.21)

- $p \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  (1.22)

- $t \in \{1, 2, \dots, 24\}$  (1.23)

- $u \in \{1, 2, \dots, 84\}$  (1.24)

- $s \in \{1, 2, \dots, 14\}$  (1.25)

En résumé, cette modélisation mathématique prend en compte les différentes contraintes de capacité, de compatibilité, de débit de transfert, et de disponibilité des portiques et des stocks, ainsi que la demande des navires. En utilisant un solveur de programmation linéaire mixte en nombres entiers (**MILP**), nous pouvons déterminer la planification optimale pour maximiser la quantité d'engrais chargée sur les navires chaque jour. La **flexibilité** et la **dynamique** de cette solution permettent également d'intégrer des contraintes nouvelles ou imprévues au fur et à mesure qu'elles se présentent.

## D. Défi De La Complexité

Le problème de planification journalier que nous abordons implique un nombre considérable de variables et de contraintes. Chaque portique, stock, navire, et qualité d'engrais introduit de nouvelles dimensions à notre modèle, ce qui augmente exponentiellement la complexité de la tâche. Après un simple calcul des variables, nous trouvons **169,344 variables**. Ce nombre est ensuite multiplié par chaque navire. En considérant un nombre moyen de six navires par jour, nous obtenons **plus d'un million de variables**. Et cela, sans même prendre en compte le nombre de contraintes.

Les **tableaux de compatibilité** des portiques avec les stocks et des stocks avec les types d'engrais aident à réduire le temps de calcul en éliminant les combinaisons impossibles dès le départ, réduisant ainsi le nombre de variables à **32,208** par navire. Ainsi, nous avons réussi à réduire le nombre original de variables de **81%**. Cependant, même avec ces optimisations

préliminaires, la complexité demeure élevée. Le **moteur d'optimisation** doit être capable de gérer cette complexité tout en assurant que nous trouvons la quantité optimale d'engrais à charger chaque jour. Ce niveau de **sophistication** dans l'optimisation est nécessaire pour garantir une planification précise et efficace des opérations portuaires, maximisant ainsi la quantité chargée et répondant aux demandes des clients de manière fiable.

## E. Moteur D'optimisation (Gurobi)

Pour résoudre efficacement le problème de planification journalière complexe auquel nous sommes confrontés, nous avons choisi d'utiliser **le solveur Gurobi**, reconnu pour sa puissance et sa performance dans la résolution de problèmes d'optimisation complexes.

Gurobi offre une variété d'algorithmes sophistiqués conçus pour gérer efficacement les grands ensembles de variables et de contraintes que présente notre modèle. En utilisant Gurobi, nous pouvons spécifier des paramètres tels que **la limite de temps de calcul, la tolérance de convergence** et d'autres critères d'arrêt pour adapter la résolution du problème à nos besoins spécifiques. De plus, Gurobi fournit des rapports détaillés sur le processus d'optimisation, ce qui nous permet de comprendre en profondeur la solution obtenue et de diagnostiquer d'éventuels problèmes. En somme, le choix de Gurobi comme solveur pour notre problème de planification journalière garantit une résolution rapide, précise et fiable, essentielle pour optimiser les opérations portuaires et répondre aux exigences des clients de manière efficace.

## F. Validation Du Plan De Chargement Optimal Par Simulation

Après avoir obtenu le plan de chargement optimal grâce à notre modèle d'optimisation, il est essentiel de le **valider** pour assurer son **efficacité opérationnelle**. Pour ce faire, nous utilisons un logiciel de **simulation** intégrant tous les **équipements** de la chaîne d'approvisionnement, y compris les portiques, les stocks, les convoyeurs et les navires. Ce logiciel nous permet de simuler le déroulement des opérations conformément au plan de chargement proposé, en prenant en compte les contraintes opérationnelles et les scénarios de perturbation potentiels. En évaluant le plan de chargement à l'aide de la simulation, nous sommes en mesure d'identifier les goulots d'étranglement, les temps d'attente excessifs et autres inefficacités qui pourraient compromettre la performance globale du système. Cette évaluation nous permet d'apporter d'éventuelles modifications au plan de chargement afin d'optimiser davantage les opérations et d'assurer une exécution fluide et efficace de la planification journalière.

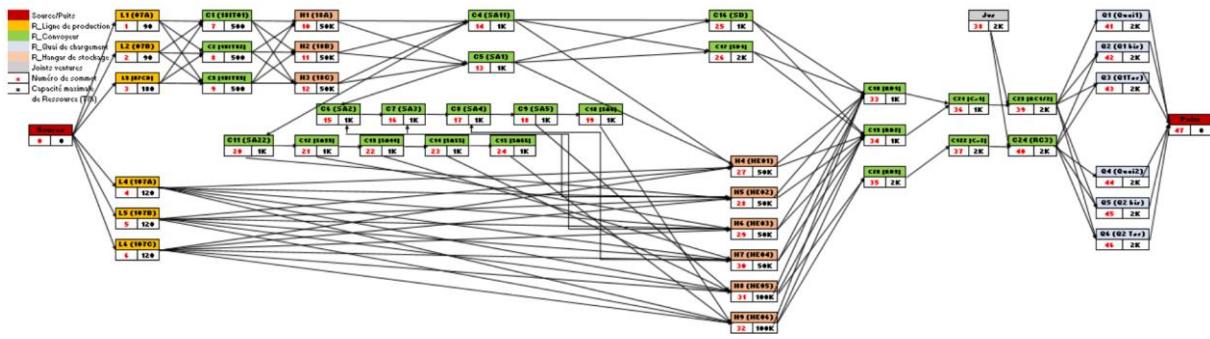


Figure 47 : Schéma de la chaîne d'approvisionnement

Pour la simulation, nous avons choisi d'utiliser **Simul8** en raison de son interface conviviale et de sa facilité d'utilisation. Bien qu'il existe d'autres logiciels de simulation tels que Arena Rockwell qui offrent des fonctionnalités similaires, nous avons préféré Simul8 pour sa simplicité et son intuitivité. Cette convivialité nous permet de rapidement modéliser et tester différents scénarios, ce qui nous aide à prendre des décisions informées pour optimiser nos opérations de chargement.

## Conclusion

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'explorer en profondeur les **solutions potentielles** liés à la **planification et au suivi des opérations logistiques**. Nous avons commencé par examiner le contrôle du tirant d'eau, soulignant son importance cruciale dans le contrôle de chargement des navires et **identifiant** les **problèmes actuels ainsi que les solutions recommandées**. Ensuite, nous avons **présenté** notre **plateforme** de suivi de chargement, décrivant en détail sa conception, son développement et son déploiement, ainsi que les aspects financiers associés à son implémentation.

Dans la dernière section, nous avons abordé la **planification** des opérations logistiques, en mettant en lumière les critères de classification des problèmes de planification et en présentant une **modélisation mathématique détaillée** pour optimiser le processus. En utilisant des notations spécifiques et en décrivant les contraintes du modèle de planification quotidienne, nous avons démontré l'ampleur de la complexité de ce processus et les défis associés à son optimisation. Enfin, nous avons discuté de l'utilisation d'un moteur d'optimisation tel que Gurobi pour **valider** le plan de chargement optimal par **simulation**, soulignant ainsi l'importance de la technologie dans l'amélioration des opérations logistiques.

## Conclusion Générale

En conclusion, ce stage a été une opportunité précieuse pour mettre en **pratique** mes **connaissances** théoriques dans le contexte industriel. En travaillant sur **l'optimisation** des processus logistiques chez OCP Jorf Lasfar, j'ai **identifié** les lacunes du système actuel et proposé des **solutions** innovantes grâce à la digitalisation. Cette expérience m'a permis de développer de nouvelles compétences en **analyse** et en **Résolution** de problèmes, tout en me familiarisant avec les technologies de pointe utilisées dans le domaine de la logistique. Je suis reconnaissant envers toute l'équipe d'OCP Jorf Lasfar pour leur soutien tout au long de cette période.

J'ai **recommandé** des solutions potentielles pour améliorer le **contrôle** de tirant d'eau et conçu une **plateforme** numérique permettant un suivi en temps réel des opérations logistiques, garantissant ainsi une meilleure **visibilité** et un meilleur contrôle de la chaîne d'approvisionnement. Par ailleurs, j'ai mis en œuvre des modèles **mathématiques** pour optimiser les activités de planification quotidienne. Malgré le défi posé par **l'accès** limité aux documents, j'ai pu surmonter ces obstacles pour mener à bien mes analyses de données.

Ce stage m'a également permis d'acquérir une expérience précieuse en **cartographie** de la chaîne d'approvisionnement et en **planification** de projets informatiques, de la conception au déploiement. Les solutions proposées contribueront à améliorer la **traçabilité** des informations et à faciliter l'analyse des données, garantissant ainsi une meilleure **prise de décision**.

Il est **recommandé** de généraliser les solutions identifiées à l'ensemble des quais et d'élargir la portée de la plateforme pour inclure la gestion de **l'importation** de **matières premières**. De plus, la plateforme développée devrait être suffisamment **flexible** pour permettre **l'intégration** de **nouveaux modules** à l'avenir, afin de répondre aux besoins évolutifs de l'entreprise.

Ce stage a renforcé ma conviction quant à l'importance de notre domaine dans l'intégration de la **digitalisation** au sein des entreprises. Grâce à notre éducation combinant industrie et informatique, nous jouons un rôle essentiel en tant que moteurs de l'innovation dans le domaine industriel. Je suis reconnaissant de l'opportunité qui m'a été offerte de contribuer à OCP Jorf Lasfar et je tiens à exprimer ma gratitude envers mes superviseurs et collègues pour leur soutien constant tout au long de cette expérience enrichissante.

# Bibliographies

- [1] worldbank, « CMO-Pink-Sheet-June-2024 ». 4 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: [www.worldbank.org/commodities](http://www.worldbank.org/commodities)
- [2] OCP S.A, « DOCUMENT DE REFERENCE RELATIF A L'EXERCICE 2022 ET AU PREMIER SEMESTRE 2023 ». 30 novembre 2023.
- [3] P. Richnák, « Current Trend of Industry 4.0 in Logistics and Transformation of Logistics Processes Using Digital Technologies: An Empirical Study in the Slovak Republic », *Logist.*, vol. 6, n° 4, 2022, doi: 10.3390/logistics6040079.
- [4] B. Xu et L. Zhang, « Muti-dimensional Architecture Modeling for Cyber Physical Systems », in *Advances in Computer Science and its Applications*, vol. 279, H. Y. Jeong, M. S. Obaidat, N. Y. Yen, et J. J. Park, Éd., in Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 279. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, p. 101-105. doi: 10.1007/978-3-642-41674-3\_16.
- [5] M. Straka, « THE POSITION OF DISTRIBUTION LOGISTICS IN THE LOGISTIC SYSTEM OF AN ENTERPRISE », *AL*, vol. 4, n° 2, p. 23-26, juin 2017, doi: 10.22306/al.v4i2.5.
- [6] N. F. Ndiaye, « Algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire ».
- [7] H. Min, « Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0 », *Marit Econ Logist*, vol. 24, n° 2, p. 189-207, juin 2022, doi: 10.1057/s41278-022-00211-3.
- [8] S. Dreher, P. Reimann, et C. Gröger, « Application Fields and Research Gaps of Process Mining in Manufacturing Companies », 2021, doi: 10.18420/INF2020\_55.
- [9] « Enterprise Resource Planning », *Journal of Management Information Systems*, vol. 19, n° 1, p. 11-15, juill. 2002, doi: 10.1080/07421222.2002.11045718.
- [10] K. Wenrich et N. Ahmad, « Lessons Learned During a Decade of ERP Experience: A Case Study », *International Journal of Enterprise Information Systems*, vol. 5, n° 1, p. 55-73, janv. 2009, doi: 10.4018/ijéis.2009010105.
- [11] H. Min, S.-B. Ahn, H.-S. Lee, et H. Park, « An integrated terminal operating system for enhancing the efficiency of seaport terminal operators », *Marit Econ Logist*, vol. 19, n° 3, p. 428-450, août 2017, doi: 10.1057/s41278-017-0069-5.

## Bibliographie

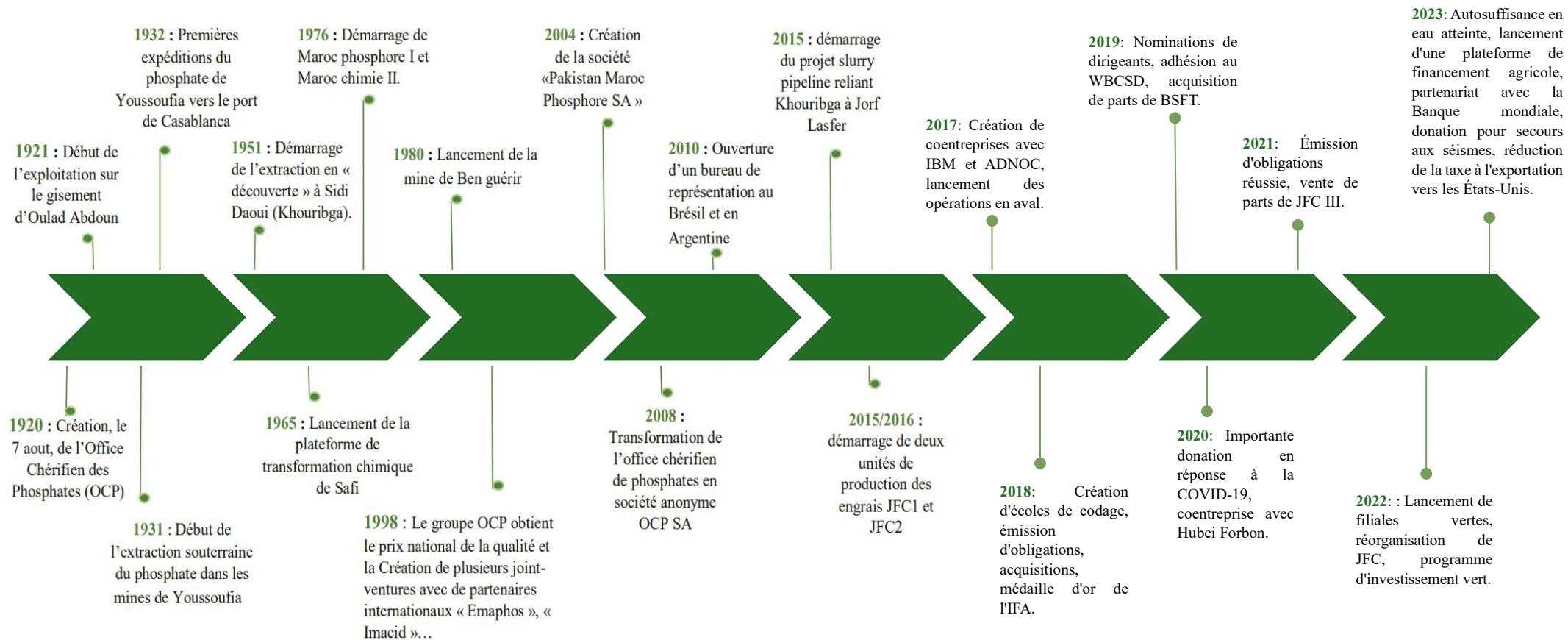
- [12] K. Stouffer, V. Pillitteri, S. Lightman, M. Abrams, et A. Hahn, « Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security », National Institute of Standards and Technology, NIST SP 800-82r2, juin 2015. doi: 10.6028/NIST.SP.800-82r2.
- [13] Z. Guo, Z. Cao, W. Wang, Y. Jiang, X. Xu, et P. Feng, « An integrated model for vessel traffic and deballasting scheduling in coal export terminals », *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 152, p. 102409, août 2021, doi: 10.1016/j.tre.2021.102409.
- [14] Z. Wang, P. Shi, et C. Wu, « A Ship Draft Line Detection Method Based on Image Processing and Deep Learning », *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1575, n° 1, p. 012230, juin 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1575/1/012230.
- [15] X. Wang, H. Shi, et H. Zhou, « Research on Automatic Control System of Bulk Terminal Based on Application », *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1905, n° 1, p. 012008, mai 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1905/1/012008.
- [16] K. Makkawan et T. Muangpan, « A Conceptual Model of Smart Port Performance and Smart Port Indicators in Thailand », *Journal of International Logistics and Trade*, vol. 19, n° 3, p. 133-146, sept. 2021, doi: 10.24006/jilt.2021.19.3.133.
- [17] J. Liu, J. Lee, et R. Zhou, « Review of big-data and AI application in typhoon-related disaster risk early warning in Typhoon Committee region », *Tropical Cyclone Research and Review*, vol. 12, n° 4, p. 341-353, déc. 2023, doi: 10.1016/j.tcrr.2023.12.004.
- [18] V. M. Abramov, I. Sikarev, S. Lukyanov, E. Rumiantceva, A. Chusov, et O. Petrieva, « Decision Aid Digital Instrument Within Arctic Maritime Logistics During Polar Night », in *Digital Technologies in Logistics and Infrastructure*, vol. 157, I. Ilin, C. Jahn, et A. Tick, Éd., in Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 157., Cham: Springer International Publishing, 2023, p. 163-170. doi: 10.1007/978-3-031-24434-6\_16.
- [19] M. Sabih, M. S. Farid, M. Ejaz, M. Husam, M. H. Khan, et U. Farooq, « Raw Material Flow Rate Measurement on Belt Conveyor System Using Visual Data », *ASI*, vol. 6, n° 5, p. 88, sept. 2023, doi: 10.3390/asi6050088.
- [20] A. N. Ivanovskii, « The Concept of Automated Draught Survey System for Marine Ships », in *2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, Saint Petersburg, Russian Federation: IEEE, janv. 2022, p. 312-316. doi: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755613.
- [21] W. J. Dibble et P. Mitchell, *Draught surveys: a guide to good practice*, Repr. in NEP&I loss prevention guides. London: MID-C Consultancy, 1998.

## ANNEXE I: Présentation du groupe OCP

### 1. L'historique du groupe OCP

L'Office Chérifien des Phosphates, établi en août 1920 en tant qu'entreprise d'État, a été créé dans le dessein d'exploiter la richesse nationale en phosphates. Débutant avec une activité initiale centrée sur l'extraction de phosphates en 1921, l'Office Chérifien des Phosphates a évolué pour devenir le Groupe OCP à partir de 1975, en raison de l'expansion continue de son réseau à travers le territoire national. Au fil du temps, les activités du Groupe OCP se sont étendues à d'autres domaines, notamment la commercialisation des produits dérivés du phosphate à l'échelle internationale, ainsi que la fabrication et l'exportation d'acide phosphorique à partir de 1998.

⊕ L'infographie ci-dessous met en lumière les moments clés de l'histoire du Groupe OCP



## 2. Fiche technique de l'OCP

*Tableau 7 : Fiche technique de l'OCP*

<b>Dénomination</b>	<u>Office Chérifien des Phosphates</u>
<b>Raison sociale</b>	OCP.SA
<b>Numéro du registre de commerce</b>	Casablanca 40.327
<b>Date de création du groupe</b>	Le 07/08/1920
<b>Mise en place de la structure d'un groupe</b>	Juillet 1975
<b>Siège social</b>	2, Rue El Abtal, Hay Raha Route d'El Jadida - 20200 Casablanca
<b>Directeur Général actuel</b>	M. Mostafa TERRAB
<b>Forme juridique</b>	Établissement public relevant du droit privé
<b>Secteur d'activité</b>	Extraction, traitement, valorisation et commercialisation des phosphates et produits divers
<b>Réserves de Phosphate</b>	¾ des réserves mondiales
<b>Exploitation Minière</b>	Khouribga, Ben guérir, Youssoufia et Boucraâ.
<b>Industrie chimique</b>	Safi et Jorf Lasfar
<b>Produits</b>	Phosphates, acide phosphorique et engrais
<b>Actionnaires</b>	État marocain
<b>Effectifs</b>	23,000 dont 725 ingénieurs et équivalents
<b>Chiffre d'affaires</b>	46 milliards par an

## Annexe

### 3. L'organigramme du groupe

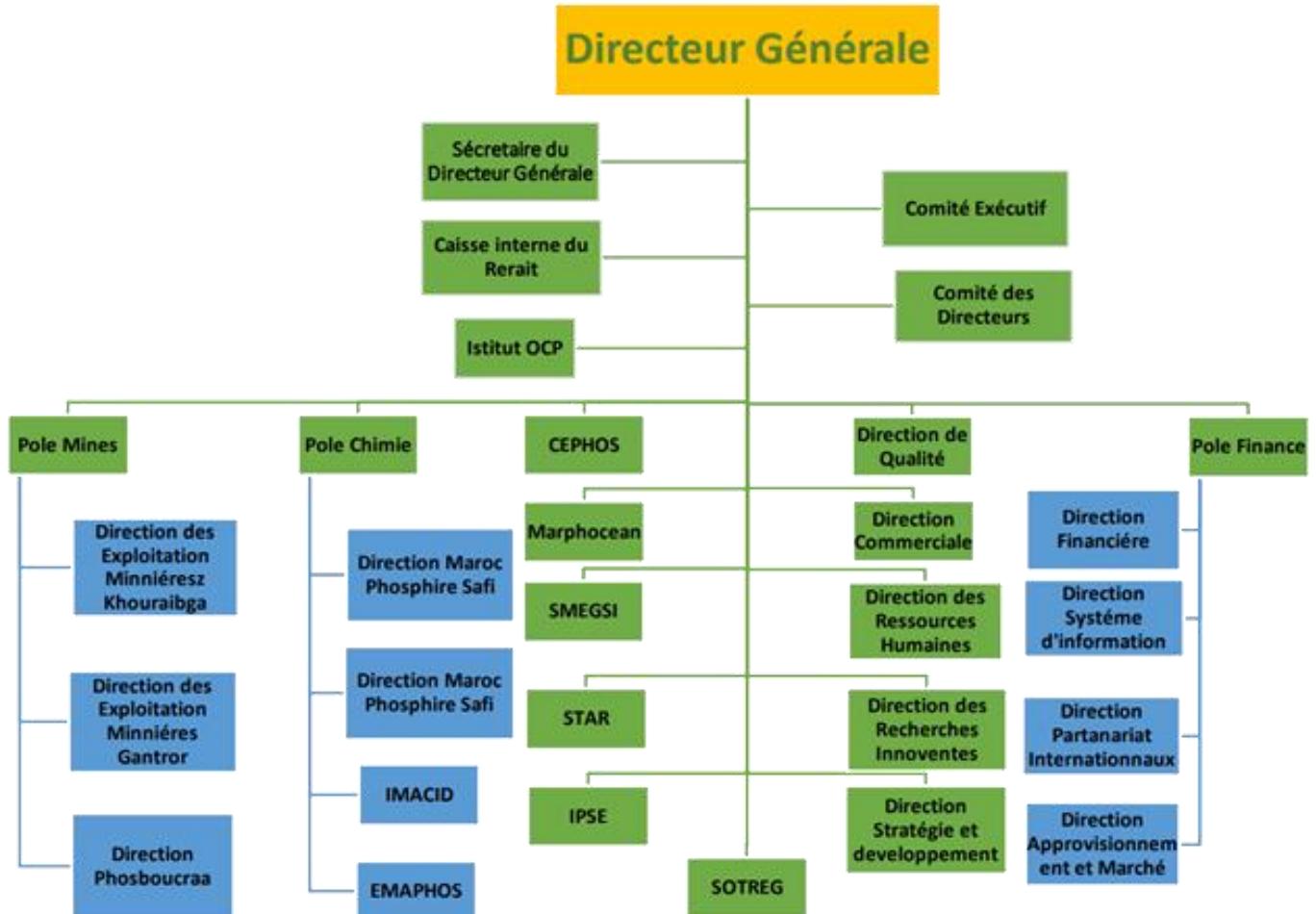


Figure 48 : Organigramme du groupe

### 4. Implantations de Production

Le Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP), acteur majeur sur la scène internationale de l'industrie des phosphates et de ses dérivés, opère dans cinq zones géographiques distinctes à travers le pays :

- **Zones d'exploitation minière :**

Le Groupe opère dans quatre centres miniers majeurs au Maroc, riches en phosphates : **Khouribga «OULAD ABDOUNE»**, **Benguérir-Youssoufia «GANTOUR»** et **Boucraâ/Laâyoune**.

- **Zones de valorisation et de traitement chimique :**

Les sites de **Jorf Lasfar** et **Safi** sont dédiés à la production de dérivés du phosphate, tels que les acides phosphoriques et les engrains. Ces sites représentent entre 18 et 20% des exportations marocaines.

## Annexe

Les ports d'embarquement du Groupe OCP se trouvent à **Casablanca**, **Jorf Lasfar**, **Safi** et **Laâyoune**, situés à proximité des principaux gisements de phosphates.



Figure 49 : Cartographie des usines et mines du groupe OCP au Maroc

## 5. Position sur le marché

Depuis sa création jusqu'à aujourd'hui, le Groupe OCP n'a cessé de croître et de maintenir sa position concurrentielle par rapport aux autres producteurs mondiaux de phosphates et de leurs dérivés. Grâce à une modernisation continue, le Groupe OCP est actuellement reconnu comme le leader du marché mondial des phosphates.

Le Groupe OCP joue donc un rôle crucial dans le développement régional et mondial, se distinguant notamment par les éléments suivants :

- Le premier exportateur mondial de phosphate.
- Le premier exportateur mondial d'acide phosphorique.

## Annexe

- ✚ Le premier exportateur mondial de P2O5 sous toutes ses formes.

### 6. Secteur d'activité

Les activités de l'OCP ont débuté avec l'extraction du phosphate brut du sous-sol marocain, suivi du traitement physique pour augmenter sa teneur en phosphore, puis sa valorisation et sa transformation en dérivés tels que l'acide phosphorique de base et les engrains solides. Cette évolution a conduit à la mise en place du Groupe OCP en 1975, intégrant différentes entités complémentaires au sein d'un même ensemble.

De manière générale, on peut distinguer quatre activités principales :

- **La prospection** : consiste à évaluer les gisements en creusant des puits pour délimiter les couches et évaluer leur teneur en phosphate.
- **L'extraction** : se déroule dans quatre centres miniers au Maroc, caractérisés par leur richesse en phosphate et leur proximité des ports d'exploitation du royaume. Deux méthodes sont utilisées : la voie souterraine et l'exploitation à ciel ouvert.
- **Le traitement** : vise à valoriser les phosphates bruts par différentes opérations telles que le criblage, le séchage, la calcination, la flottation et l'enrichissement à sec.
- **La valorisation diversifiée** : englobe la production d'acides phosphoriques et d'engrais dans les unités chimiques du groupe à Jorf Lasfar et Safi.
- Pour répondre aux besoins de ses clients, le Groupe OCP utilise quatre ports répartis dans différentes régions du pays et situés près des principaux gisements de phosphates.

## ANNEXE II : Présentation du complexe industriel Jorf Lasfar

### 1. Présentation du Site de Jorf Lasfar

Le site de Jorf Lasfar concentre les activités chimiques de valorisation des minerais de phosphates, produisant de l'acide phosphorique et sulfurique ainsi que des engrais, en collaboration avec des partenaires internationaux. Les entités présentes sur le site comprennent:

- ✓ **EMAPHOS (*EURO MAROC PHOSPHORE S.A.*)** : Partenariat pionnier de l'OCP dans l'activité chimique, créé en 1996, spécialisé dans la production et la commercialisation d'acide phosphorique purifié.
- ✓ **IMACID (*INDO MAROC PHOSPHORE S.A.*)** : Créeé en 1997, fournissant de l'acide phosphorique au marché indien.
- ✓ **PMP (*PAKISTAN MAROC PHOSPHORE*)** : Joint-venture à parts égales entre l'OCP et le groupe pakistanais FAUJI, établie en 2004, active dans la production et la commercialisation d'acide phosphorique marchand depuis 2008.
- ✓ **BMP (*BUNGE MAROC PHOSPHORE*)** : Fondée en 2008, engagée dans la production et la commercialisation d'acide phosphorique, d'engrais phosphatés et azotés depuis 2009.
- ✓ **JESA (*JACOBS ENGINEERING S.A.*)** : Coentreprise établie en 2010 entre l'OCP et Jacobs Engineering, chargée de la gestion des projets de développement.

### 2. Unités Opérationnelles du Groupe

Les installations opérationnelles comprennent :

- ❖ **Unités de stockage** : Hangars pour produits solides (phosphate, soufre, engrais) et bacs pour produits liquides (soufre liquide, ammoniac, acide phosphorique).
- ❖ **Ateliers de production** :
  - **Atelier sulfurique (SAP)** : Six unités produisant de l'acide sulfurique pour la fabrication de l'acide phosphorique.
  - **Atelier phosphorique (PAP)** : Utilisant le phosphate, l'acide sulfurique, l'eau de mer, l'eau douce et la vapeur pour produire de l'acide phosphorique.
  - **Atelier d'engrais** : Quatre unités produisant du DAP (Di-ammonium des phosphates).
  - **Atelier des utilités** : Fournit les produits intermédiaires nécessaires à la production, tels qu'une centrale thermoélectrique, un réservoir d'eau douce, une station de traitement et de reprise d'eau de mer, et une station de compression d'air.
- ❖ **Port de Jorf Lasfar** : Importation de soufre et d'ammoniac, exportation de phosphate, d'acide phosphorique et d'engrais. Installation comprenant un hangar de stockage pour le soufre solide, deux bacs de stockage pour l'ammoniac, une station de pompage d'eau de mer, et une station de transformation du soufre solide en soufre liquide.
  - Installations Portuaires :
    - Hangar de stockage de soufre solide
    - Unité de fusion et de filtration de soufre

## Annexe

- Bacs de stockage de soufre liquide
  - Bacs de stockage d'acide sulfurique
  - Bacs atmosphériques pour le stockage d'ammoniac
  - Station de filtration et de pompage d'eau de mer
  - Station d'ensachage des engrains pour l'exportation
- Superstructures Portuaires :
- ♣ Déchargement :
    - Soufre solide via 2 portiques
    - Soufre liquide
    - Ammoniac via un bras de déchargement
    - Acide sulfurique via un bras de déchargement
  - ♣ Chargement :
    - Phosphate via 2 portiques
    - Engrais en vrac via 4 portiques
    - Engrais en sac via 2 portiques
    - Acide phosphorique marchand via 2 bras de chargement
    - Acide phosphorique purifié via un bras dédié

## ANNEXE III : OCP production system

### 1. Définition et principes

Depuis longtemps le développement durable offre de nouvelles opportunités à l'industrie du phosphate. Il vise à faire de l'environnement et du développement durable une source importante de réduction de ses coûts et de renforcement de sa compétitivité. La transformation opérationnelle du pôle industriel se poursuit avec la mise en place d'OCP Production System (OPS) depuis juin 2012 dans le cadre d'un programme de Management Industriel développé avec la Centrale Paris inspiré des meilleures pratiques du système WCM et des expériences de gestion passées (Cercles Qualité, TQM, TPM, Lean...). Il s'agit d'un système complet destiné à améliorer la productivité et les performances de l'entreprise par :

- ❖ L'identification des pertes : ce qui consomme des ressources sans apporter de valeur au client.
- ❖ La concentration des moyens sur les pertes principales : pannes, déchets, ... en appliquant des méthodes avec rigueur.

L'OPS sensé révolutionner le rapport de l'homme à l'entreprise et donc les performances de l'entreprise d'une manière durable et sereine pour accélérer la marche du groupe vers l'excellence opérationnelle. Il s'appuie sur 3 principes fondamentaux :

- L'implication des équipes : l'homme est au cœur de l'entreprise ;
- La voix du client (interne ou externe) doit être entendue dans l'usine ;
- La passion du détail sur toute la chaîne de valeur.

### 2. Objectifs de l'OPS

L'OPS cherche à :

- ❖ Améliorer la marge, rentabilité ;
- ❖ Avoir des équipes motivées, novatrice, curieuse, créatrice ;
- ❖ Se projeter dans l'avenir de l'entreprise ;
- ❖ Définir l'état normal d'une installation, d'un réglage, d'une machine, ...
- ❖ Définir les tâches régulières à réaliser pour conserver cet état standard.
- ❖ S'adapter aux besoins de clients ;
- ❖ S'adapter au changement de l'environnement ;
- ❖ Faire face à la concurrence.

### 3. Les blocs de l'OPS

L'OPS est conçue sur six blocs fonctionnels suivants :

## Annexe

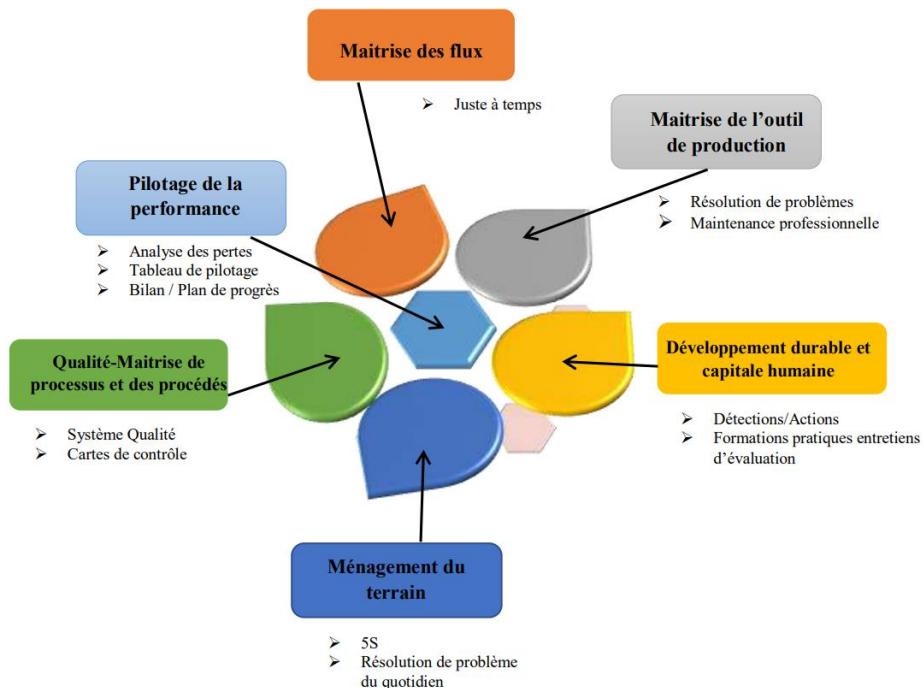


Figure 50 : Blocs de l'OPC

Dans cette étude, nous nous concentrerons exclusivement sur le bloc concernant l'optimisation des processus logistiques, qui représente la maîtrise de l'outil de production basée sur les principaux axes suivants :

- ❖ Visualisation et amélioration des processus au sein de l'entreprise.
- ❖ Analyse des problèmes à l'aide de la méthode de ABC pour identifier les principales causes de dysfonctionnement.
- ❖ Digitalisation des processus pour améliorer l'efficacité et la productivité globale de la chaîne logistique.
- ❖ Brainstorming pour générer de nouvelles idées et trouver des solutions novatrices aux défis logistiques rencontrés.

## 4. Les outils de base

La puissance du projet OCP PS provient de l'implication des équipes par l'intégration d'un ensemble d'outils importants permettant à l'opérateur de comprendre les principes du procédé de fabrication, ces performances d'utiliser les procédures et standards de fabrication adaptées, de connaître les processus, la structure et le fonctionnement des équipements, les caractéristiques des produits fabriqués, détecter les problèmes et prendre les mesures d'urgence.

Les outils de base de l'OPS sont :

- Le ménagement visuel
- La leçon ponctuelle
- Les tableaux d'activités.
- Les étiquettes.
- Les standards.

## ANNEXE IV : Port Intelligent

### 1. Introduction

À l'ère de la **quatrième révolution industrielle**, les ports du monde entier sont confrontés à des pressions sans précédent pour s'adapter aux exigences de la numérisation et de l'automatisation. Cette révolution, alimentée par des avancées technologiques, transforme rapidement les opérations portuaires traditionnelles en ce que l'on appelle désormais les "**smart ports**". Ces **ports intelligents** intègrent des technologies avancées pour améliorer l'efficacité opérationnelle, la sécurité environnementale et la compétitivité économique.

Dans ce contexte, cette revue de littérature se penche sur le concept émergent de ports intelligents et sur le rôle crucial de la quatrième révolution industrielle dans cette transformation. Nous examinerons comment la numérisation des processus logistiques, également connue sous le nom de **logistique 4.0**, constitue une étape fondamentale vers la réalisation de ports intelligents. En explorant les travaux antérieurs, nous chercherons à comprendre les défis, les opportunités et les tendances clés dans le domaine des ports intelligents, ainsi que les implications de la numérisation pour l'avenir de la logistique portuaire.

Cette revue de littérature vise à éclairer les lecteurs sur les avancées actuelles et les perspectives futures des ports intelligents, tout en soulignant l'importance cruciale de la quatrième révolution industrielle dans ce processus de transformation. En examinant les recherches existantes et en identifiant les lacunes dans la littérature, nous espérons fournir des insights précieux pour les praticiens, les chercheurs et les décideurs qui s'efforcent de naviguer dans ce paysage portuaire en mutation rapide.

### 2. C'est quoi le logistique?

Sous le règne de l'empereur byzantin Leontos VI (886 - 911), le terme de logistique a commencé à être utilisé pour la première fois. Le général suisse H. Jomini (1799 - 1869) a utilisé le terme de logistique en tant que terminologie militaire spécifique. Il comprenait la logistique comme la science du mouvement, de la fourniture et de l'hébergement des soldats. [5]

Au début du XXe siècle, le terme logistique a commencé à être utilisé dans le domaine économique et dans la littérature économique. Au début des années soixante-dix, les experts ont commencé à appliquer la théorie de la logistique dans une utilisation pratique. Selon certains auteurs :

*« La logistique peut être comprise comme une branche de la science, qui traite de la planification globale, de la gestion, de la mise en œuvre et du contrôle des flux de matières, créant les systèmes matériels et d'information nécessaires pour le traitement des matériaux. »*[5]

La logistique est un résumé de toutes les activités de gestion et de mise en œuvre complètes des flux de matières dans les processus de fabrication et les circulations de biens. Pour atteindre les plus hautes performances en maximisant l'efficacité de la production, la logistique, aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel, propose respectivement des actions qui conduisent à

## Annexe

atteindre les résultats requis en utilisant tous les moyens disponibles de la science et de la technologie, de l'économie et de l'informatique.

### 3. La Révolution Digitale : L'Ère de l'Industrie 4.0

La digitalisation représente un changement complexe et radical au sein des entreprises, qui doivent identifier et mettre en œuvre des mesures numériques. La transformation numérique impacte différentes dimensions des entreprises tout en permettant la création de nouveaux modèles commerciaux grâce aux technologies digitales. Elle se concentre sur la création de valeur ajoutée pour les clients à travers des technologies intelligentes.

Les technologies digitales ont changé la nature des processus commerciaux en créant de nouvelles méthodes de gestion permettant à l'entreprise d'obtenir un avantage concurrentiel dans un réseau d'intervenants. Dans une étude, il est mentionné que parmi les technologies digitales se trouvent la réalité augmentée, la réalité virtuelle, **l'infrastructure Cyber-Physique, le cloud computing, l'Internet des objets, l'intelligence artificielle, l'analyse de données volumineuses**, la fabrication additive, **les capteurs intelligents**, les robots et systèmes autonomes, et **les technologies mobiles**. La digitalisation dans l'industrie de la logistique et de la gestion de la chaîne d'approvisionnement prend de plus en plus d'ampleur car elle revêt une importance stratégique pour les entreprises et impacte les paradigmes et modèles commerciaux établis. Il est noté que de nouvelles technologies émergent, en particulier à l'ère de l'Industrie 4.0, telles que les opérations cloud et l'intelligence artificielle, tout en créant de nouveaux systèmes de fabrication flexibles.

L'essence de la flexibilité réside dans la capacité de l'entreprise à répondre aux demandes des clients de manière opportune tout en augmentant la productivité, sans encourir de coûts excessifs ni surengager des ressources. Il est mentionné que la digitalisation est une tendance actuelle dans l'industrie de la logistique.

Les opportunités associées à la digitalisation ont permis à l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement d'accéder, de stocker et de traiter de grandes quantités de données, permettant aux entreprises de capturer des données clients individualisées pour personnaliser le processus de vente, la conception de produits et de services.[3]

### 4. La Digitalisation de la Logistique : Vers la Logistique 4.0

**La logistique traditionnelle** et la **digitalisation** sont deux domaines interconnectés qui ont évolué avec le temps. Alors que la logistique traditionnelle se concentre sur la gestion physique des flux de matériaux et de marchandises, la digitalisation a introduit de nouvelles technologies pour optimiser ces processus. Dans ce contexte, **la logistique 4.0** émerge comme une approche intégrée, exploitant les outils numériques pour transformer fondamentalement la gestion des chaînes d'approvisionnement et des opérations logistiques.

La transition vers la **logistique 4.0** constitue une étape essentielle vers la réalisation des **ports intelligents**. En adoptant des technologies de pointe telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA) et l'analyse des données avancée, les opérations portuaires peuvent

## Annexe

être optimisées et automatisées, conduisant ainsi à une efficacité accrue, une réduction des coûts et une meilleure gestion des ressources. Cette évolution vers la logistique 4.0 permet aux ports de devenir plus agiles, plus connectés et plus réactifs, préparant ainsi le terrain pour une transformation complète vers des ports intelligents.

*Tableau 8 : Technologies de digitalisation logistique*

Les technologies	Leurs relations avec le sujet
<b>Simulation &amp; modélisation</b>	Utilisée pour simuler et modéliser différents scénarios logistiques afin d'optimiser les processus et de prédire les résultats, ce qui correspond à l'objectif d'améliorer l'efficacité des opérations logistiques.
<b>SCM 4.0</b>	Représente le niveau suivant de la gestion de la chaîne d'approvisionnement en intégrant la numérisation et l'automatisation, directement pertinent pour améliorer la planification et le suivi des opérations logistiques.
<b>Analyse des données avancée</b>	Les techniques avancées d'analyse de données aident à extraire des informations des vastes ensembles de données, permettant une prise de décision éclairée pour optimiser les processus logistiques et améliorer les performances globales.
<b>Big Data</b>	Facilite le traitement de grands volumes de données provenant de différentes sources, permettant une meilleure compréhension des tendances logistiques, du comportement des clients et de la dynamique de la chaîne d'approvisionnement pour une planification et une prise de décision améliorées.
<b>Intelligence artificielle</b>	Les technologies d'IA offrent des analyses prédictives et des capacités d'automatisation, qui peuvent améliorer la planification logistique, l'allocation des ressources et la gestion des risques, contribuant ainsi à des améliorations globales de l'efficacité.
<b>IOT</b>	Les appareils IoT fournissent un suivi et une surveillance en temps réel des actifs, permettant une meilleure visibilité dans les opérations logistiques, la gestion des stocks et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement.
<b>Cloud computing</b>	Offre des ressources informatiques évolutives et des solutions de stockage, permettant un accès transparent aux données et aux applications pour l'optimisation logistique, la collaboration et la flexibilité des opérations.
<b>Digital Twin</b>	Fournit une représentation virtuelle des actifs et des processus physiques, permettant la simulation, l'optimisation et la maintenance prédictive, ce qui peut améliorer la planification logistique et l'efficacité opérationnelle.
<b>Cyber sécurité</b>	Assure la sécurité et l'intégrité des systèmes et des données numériques, ce qui est crucial pour protéger les informations logistiques sensibles, prévenir les interruptions et maintenir la confiance dans les opérations.
<b>Systèmes cyber-physiques (CPS)</b>	Les systèmes cyber-physiques (CPS) sont des créations d'objets intelligents qui permettent une capacité de prise de décision autonome basée sur des informations en temps réel collectées à partir de l'IoT. Les CPS minimisent l'implication

## Annexe

humaine en créant un système qui intègre de manière transparente des algorithmes informatiques avec des composants physiques et plusieurs réseaux mobiles.

### 5. Portails Intelligents: L'Avenir Connecté des Ports

#### A. Les ports

Les ports jouent un rôle crucial au sein de l'industrie maritime, formant un réseau complexe qui relie le transport maritime au transport terrestre. Bien qu'il existe de nombreuses définitions du terme "port", nous explorerons quelques perspectives clés. Commençons par la caractérisation d'un port donnée par Stopford :

*« Une zone géographique où les navires sont mis à côté de la terre afin d'y charger et décharger des marchandises - habituellement une zone d'eau profonde comme une baie ou l'embouchure d'un fleuve. »*[6]

Les Opérations Portuaires revêtent une importance capitale pour une compréhension approfondie de notre problématique. Pour plus d'informations à ce sujet, veuillez consulter l'[ANNEXE 6](#).

#### B. New génération : Smart Port

##### a. Introduction

L'émergence de la quatrième révolution industrielle a imposé aux ports d'adapter leur fonctionnement à cette nouvelle réalité, ce qui a conduit au développement du concept de **Port intelligent**. Tout d'abord, il est nécessaire de clarifier ce concept, d'analyser et de comprendre son impact de manière générale.

Le concept de **Smart Port** est apparu en 2010, et bien qu'il n'existe pas de définition universelle, de manière générale, il peut être défini comme l'utilisation de technologies intelligentes et vertes pour accroître l'efficacité d'un port, améliorer ses performances, favoriser l'innovation, renforcer sa flexibilité, garantir sa sécurité environnementale et accroître sa compétitivité économique. De plus, un port intelligent doit disposer d'une infrastructure et de technologies intelligentes, ainsi que de personnel formé pour les exploiter, afin d'atteindre les objectifs de durabilité et d'optimiser les opérations portuaires.[7]

La communauté commerciale actuelle est confrontée à un changement radical qui oblige chaque organisation à abandonner les anciennes façons de penser et à adopter une nouvelle approche. Cette nouvelle approche repose sur l'innovation technologique fondée sur la transformation numérique, qui peut générer des gains de productivité massifs et un succès commercial ultérieur grâce à un accès plus facile à la multitude d'informations en temps réel. Cette transformation numérique implique la numérisation (informatisation) des ressources physiques et leur intégration au réseau Internet mondial. De plus, elle nécessite des changements de paradigmes

## Annexe

culturels et commerciaux dans la manière dont une entreprise opère et offre de la valeur à ses clients grâce à l'adoption rapide de la technologie (informatisée).

### b. L'architecture de base du port intelligent

Le concept de port intelligent repose sur *les systèmes cyber-physiques* (CPS), composés de trois composantes hautement intégrées : (1) **les technologies de calcul**, (2) de **communication** et (3) de **contrôle**. Ces technologies surveillent les entités physiques grâce à des interactions au sein d'une architecture multidimensionnelle[4]. En particulier, un rôle clé de la technologie de calcul (informatique) est d'extraire, de traiter, de stocker et d'analyser des données. Les principaux rôles de la technologie de communication sont de transférer une grande quantité de données en temps réel en connectant de nombreux appareils différents avec les normes de sécurité des données les plus élevées[8].

La technologie de contrôle vise à surveiller à distance l'utilisation des actifs et à effectuer des contrôles correctifs sur l'équipement dans les navires et au port. Cette technologie de contrôle est liée aux robots en réseau, aux **véhicules guidés automatiques (AGV)**, aux **Aquarone contrôlés à distance**, aux capteurs et actionneurs. Profitant des récentes avancées de la nanotechnologie, la miniaturisation continue des capteurs et actionneurs en fait une partie importante de l'IoT, ouvrant ainsi la voie au développement de ports intelligents en interconnectant tout en ligne et en contrôlant les opérations portuaires sans intervention humaine directe. Dans les environnements de port intelligent, les composants cybernétiques et physiques sont constamment coordonnés, surveillés, contrôlés, liés et intégrés par des ordinateurs embarqués et des applications logicielles en réseau via des liaisons filaires et sans fil.

Ces applications logicielles comprennent **la planification des ressources de l'entreprise (ERP)**, le système d'exploitation terminal (TOS), le contrôle et l'acquisition de données de surveillance (SCADA), et un contrôleur logique programmable (PLC) comme indiqué graphiquement dans la figure en dessous.

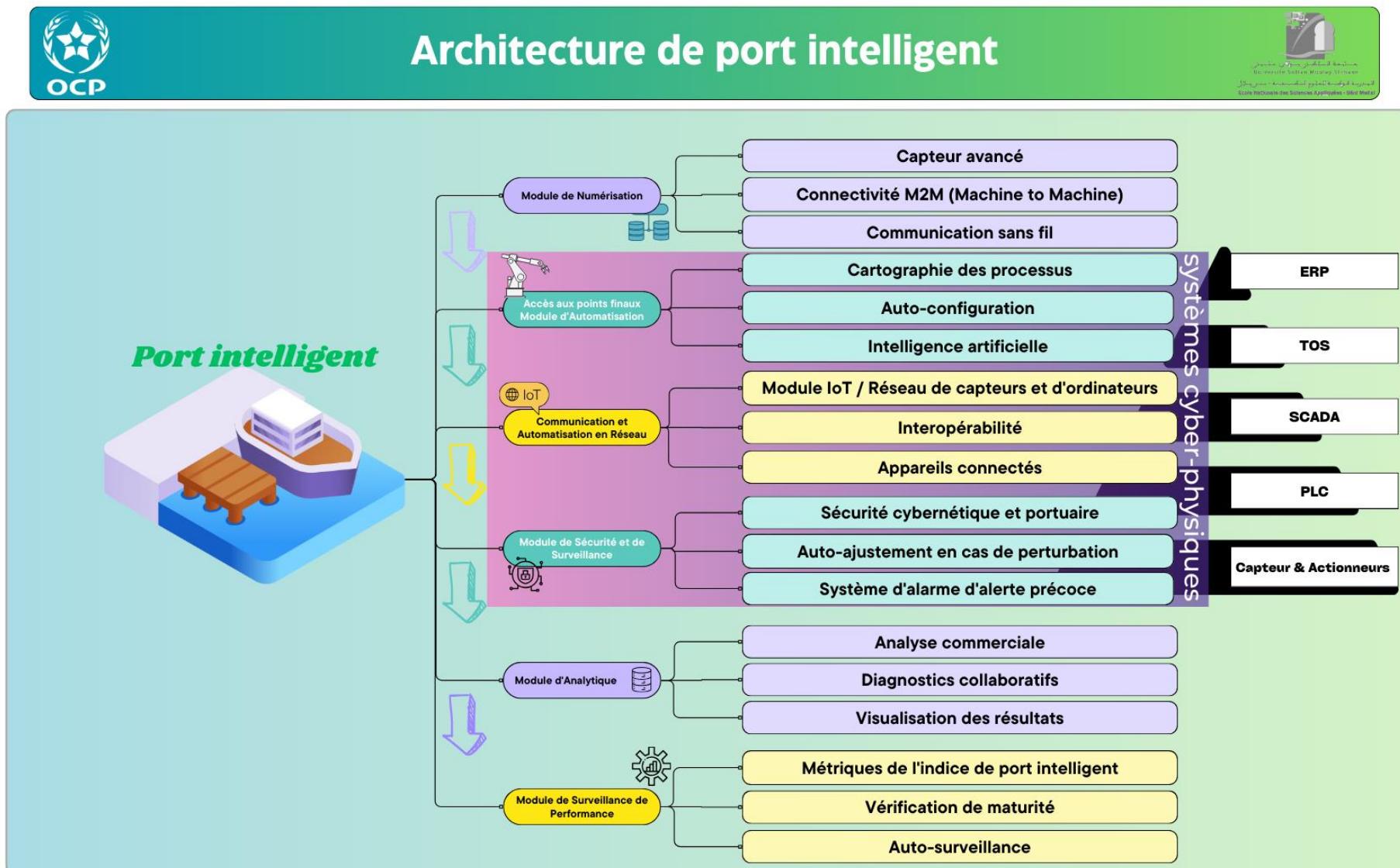


Figure 51: Architecture du port intelligent

Pour Élaborer, le **système ERP** intègre et synchronise tous les aspects (multiples unités fonctionnelles incluant le marketing, la gestion des ressources humaines, la logistique) de l'entreprise sous une suite d'applications logicielles[9]. L'essence des systèmes ERP réside dans leur capacité à intégrer les différentes unités fonctionnelles d'une organisation (y compris un port) en utilisant une vision systèmes/processus de l'organisation. Bien que rarement utilisé dans les opérations de logistique maritime, un ERP peut créer une planification portuaire intégrée et harmonieuse qui aboutit à une optimisation à l'échelle du port avec la capacité d'évaluer son impact global sur la performance portuaire.[10]

En résumé, le **TOS** ou **Système d'exploitation du terminal** est conçu pour améliorer les efficacités opérationnelles des terminaux en allouant efficacement l'équipement terminal, en réduisant les investissements dupliqués dans l'équipement terminal, en fournissant des instructions claires aux opérateurs de terminal, en standardisant les services de terminal (comme le chargement, le déchargement et les transferts de cargaisons), et en s'adaptant aux changements soudains dans les environnements portuaires grâce à un système informatique intégré en ligne[11]. Il vise à suivre, déclencher, guider, vérifier, surveiller et documenter chaque activité du terminal en temps réel. Il aide également à réduire le nombre de trajets à vide, à augmenter le débit du terminal et le volume de rotation.

**SCADA** est un système d'éléments logiciels et matériels généralement utilisé pour contrôler les actifs dispersés et les processus industriels localement ou à distance, en utilisant l'acquisition centralisée de données et le contrôle de supervision[12]. Il vise à surveiller, collecter et traiter des données en temps réel, tout en interagissant directement avec des dispositifs tels que des capteurs grâce à des logiciels d'interface homme-machine. De plus, il enregistre les événements dans un journal pour suivre chaque action.

## 6. Étude bibliographique

*Tableau 9 : Technologies de digitalisation logistique*

Nb	Titre	Auteur	Type	Année	Résumé
1	<b>Un modèle intégré pour la planification du trafic maritime et du déballastage dans les terminaux d'exportation de charbon.</b>	Zijian Guo, Zhen Cao, Wenyuan Wang, Ying Jiang, Xinglu Xu, Peng Feng	Article	2021	Ports en retard ! Le déchargement du charbon est plus rapide que le déballastage des navires, causant des retards. Un nouveau modèle gère l'arrivée, le déballastage et son planning pour réduire l'attente. Efficace, il diminue le retard de 20% et fluidifie le trafic portuaire.[13]
2	<b>Lecture du tirant d'eau d'un navire à l'aide de la vision par ordinateur et du deep learning</b>	Bangping Wang ,Zhiming Liu, Haoran Wang	Article	2021	Lecture manuelle du tirant d'eau (profondeur sous la flottaison) étant imprécise, on propose ici une méthode automatisée. Grâce à la vision par ordinateur et au deep learning, des images du navire suffisent pour extraire la valeur du

## Annexe

					tirant d'eau, avec une précision similaire à celle d'un humain. Cette innovation promet d'améliorer l'efficacité et la sécurité des opérations portuaires.[14]
3	<b>Recherche sur le système de contrôle automatique des terminaux vraquiers basé sur une application mobile</b>	Wang, Xuelin Shi, Hankun Zhou, Hongmao	Journal of Physics: Conference Series	2020	Manuelle et imprécise, la gestion des terminaux vraquiers souffre de la variété des cargaisons. Cette étude propose une application mobile pour piloter intelligemment la production. Réduisant les interventions inutiles, l'application assure la sécurité des données et supervise le personnel en temps réel. Offrant une vue d'ensemble des capacités, stocks et propriétaires, elle optimise la gestion du terminal.[15]
4	<b>Élaboration d'une architecture de port intelligent et des éléments essentiels à l'ère de l'Industrie 4.0</b>	Hokey Min	Article	2022	Avec la montée en puissance de la Quatrième Révolution Industrielle, les ports maritimes doivent s'adapter aux avancées technologiques pour optimiser leurs opérations. Cet article vise à clarifier les concepts clés des ports intelligents, à proposer une architecture de référence et à définir des jalons pour surveiller le développement de ces infrastructures. En mettant en lumière les facteurs de succès essentiels et en offrant des conseils pratiques, il montre que les ports intelligents améliorent la réactivité, l'utilisation des ressources et la visibilité logistique, tout en automatisant les opérations portuaires de bout en bout.[7]
5	<b>Un modèle conceptuel de performance des ports intelligents et des indicateurs de performance des ports intelligents en Thaïlande</b>	Makkawan Kittisak, Muangpan Thanyaphat	Journal	2021	Face à la tendance des ports intelligents, cette étude identifie des indicateurs clés pour en mesurer la performance en Thaïlande. Analysant littérature, observations et entretiens sur le corridor économique oriental, elle propose un modèle conceptuel avec 29 indicateurs répartis en opérations, environnement et sécurité. Ces travaux guideront les ports thaïlandais vers des standards internationaux d'efficacité.[16]

## Annexe

6	<b>Modèle de prédiction des crues torrentielles basé sur l'IA</b>	Zhao, Yan; Meng, Xingmin; Qi, Tianjun; Li, Yajun; Chen, Article Guan; Yue, Dongxia; Qing, Feng	2022	Pour réduire les risques de catastrophe, des chercheurs chinois ont développé un modèle prédictif basé sur l'apprentissage automatique. Analysant en continu les données de pluviométrie sur 4 ans, le modèle (testé avec succès sur 17 000 simulations) peut prédire 35 minutes à l'avance la survenue de coulées de débris, évitant ainsi tout faux positif et raté. Cette innovation permet un meilleur système d'alerte précoce face à ces dangers naturels.[17]	
7	<b>Instrument numérique d'aide à la décision dans la logistique maritime arctique pendant la nuit polaire</b>	Abramov Valery, Sikarev Igor, Lukyanov Sergey, Rumiantceva Ekaterina, Chusov Alexander, Petrieva Oksana	Article 2023	Face à la nuit polaire arctique, au changement climatique et à la pandémie, cet article propose un outil numérique d'aide à la décision pour la logistique maritime. S'appuyant sur des données géographiques et la modélisation, il vise à améliorer l'efficacité et la fiabilité du transport maritime, et intéresse des acteurs comme l'exportation d'énergie ou les assurances.[18]	
8	<b>Mesure du débit de flux de matières premières sur un système de convoyeur à bande à l'aide de données visuelles</b>	Muhammad Sabih Muhammad Shahid Farid Mahnoor Ejaz Muhammad Husam Muhammad Hassan Khan Umar Farooq	Article 2023	Pour limiter les erreurs et les interventions manuelles, cette étude propose d'automatiser le calcul du débit optimal des matières sur un convoyeur d'une usine de soude. Un capteur visuel estime le débit via un algorithme d'apprentissage automatique, ce qui permet de maintenir la proportion nécessaire pour produire du CO2 pur à 40%, essentiel pour la fabrication de la soude.[19]	
9	<b>Le concept d'un système automatisé de sondage de tirant d'eau pour les navires marchands.</b>	Aleksei Ivanovskii N. Article de colloque	2022	Pour réduire les erreurs et les pertes financières liées aux opérations de cargaison manuelles, ce document propose un système automatisé de contrôle utilisant un drone équipé d'une caméra pour la lecture du tirant d'eau du navire. L'analyse des images par des réseaux de neurones convolutifs permettra d'automatiser une tâche clé et d'améliorer la précision du processus. [20]	

## ANNEXE V : Opérations portuaires

### 1. Introduction

Dans cette annexe, nous plongerons dans l'univers des opérations portuaires, explorant divers aspects cruciaux de ce domaine. Nous commencerons par examiner les différents types d'opérations portuaires, mettant en lumière les processus essentiels qui animent le fonctionnement efficace des ports. Ensuite, nous nous pencherons sur les acteurs clés impliqués dans ces opérations, identifiant les parties prenantes qui jouent un rôle déterminant dans la chaîne logistique portuaire. Par la suite, nous étudierons de plus près les navires vraquiers, ces véritables piliers du transport maritime, et nous explorerons leur rôle vital dans le processus de chargement.

### 2. Types d'opérations portuaires

#### ⊕ Opérations à quai:

- Accostage et amarrage des navires
- Manutention des cargaisons (chargement, déchargement, transbordement)
- Stockage des marchandises dans des entrepôts et des conteneurs
- Surveillance de la sécurité et du contrôle d'accès

#### ⊕ Opérations maritimes

- Pilotage des navires dans le port et les chenaux d'accès
- Remorquage et assistance aux manœuvres
- Dragage et entretien des voies navigables
- Signalisation et contrôle du trafic maritime

#### ⊕ Opérations terrestres

- Transport des conteneurs et des marchandises par camion, rail ou barge
- Gestion des entrepôts et des terminaux de fret
- Douanes et inspections de sécurité
- Coordination avec les transporteurs et les distributeurs

### 3. Acteurs clés dans les opérations portuaires:

- ⊕ Autorités portuaires: Gèrent les infrastructures et les services du port, veillent à la sécurité et à la réglementation.
- ⊕ Opérateurs de terminaux: Exploitent les installations de manutention et de stockage des cargaisons.
- ⊕ Compagnies maritimes: Gèrent les navires et les services de transport maritime.
- ⊕ Agents maritimes: Représentent les armateurs et les propriétaires de cargaisons, facilitent les formalités administratives et douanières.
- ⊕ Manutentionnaires: Chargent, déchargent et manutentionnent les cargaisons dans les ports.
- ⊕ Douanes et agences de sécurité: Contrôlent l'entrée et la sortie des marchandises, appliquent les réglementations et assurent la sécurité.

## Annexe

### 4. Les navires vraquiers

Il existe de nombreux types de transporteurs maritimes, mais dans notre étude, nous nous concentrons principalement sur les navires vraquiers.



*Figure 52 : Types de navires de transport de marchandises*

Les **navires vraquiers**, jouent un rôle essentiel dans le commerce maritime en transportant des matières premières à travers les océans du monde. Ils sont souvent considérés comme les chevaux de trait de la flotte marchande, car ils sont chargés de transporter des cargaisons en vrac telles que le minerai, le charbon, les céréales, les minéraux et d'autres matières premières essentielles, et dans notre cas, **les engrains**.



*Figure 53 : Navire vrac avec 9 cales de chargement*

## Annexe

Ces navires fournissent les matériaux de base nécessaires à de nombreuses industries, permettant notamment de nourrir les populations, de chauffer les foyers et de fabriquer une multitude de produits. En tant que pilier de l'économie mondiale, les navires vraquiers jouent un rôle crucial dans le maintien de la chaîne d'approvisionnement mondiale et dans la croissance économique mondiale.

Le chargement et le déchargement des navires représentent des opérations cruciales nécessitant précision et efficacité. Parmi les processus logistiques essentiels, **le sondage de tirant d'eau** se distingue par son importance et sa répétitivité. Cette procédure vise à déterminer avec précision la quantité de cargaison chargée ou déchargée d'un navire, jouant ainsi un rôle clé dans la gestion des opérations maritimes. Nous explorerons en détail le concept du sondage de tirant d'eau, sa définition, son processus, et les défis qui y sont associés dans l'[\*\*ANNEXE 6\*\*](#).

# ANNEXE VI : Sondage de tirant d'eau

## 1. Définition

Le sondage de tirant d'eau est un processus de "avant et après" qui consiste à mesurer le tirant d'eau du navire (la profondeur à laquelle le navire s'enfonce dans l'eau) à la fois avant et après le chargement ou le déchargement. La différence entre ces deux tirants d'eau est directement liée au poids de la cargaison manipulée.

Le but d'un sondage de tirant d'eau est de déterminer la quantité de cargaison chargée ou déchargée pour le bénéfice de toutes les parties intéressées. Un sondage de tirant d'eau bien réalisé sur un grand navire devrait atteindre une précision de l'ordre de 0,5 %. [21]

Le sondage doit être mené avec minutie, en tenant compte de toutes les circonstances prédominantes. Le rapport final doit intégrer chaque aspect et difficulté rencontrés afin de transmettre tous les aspects du sondage. Bien que les sondages de tirant d'eau puissent être effectués par des experts en la matière, les officiers du navire doivent également réaliser un sondage de tirant d'eau avec le même degré de précision. Il est espéré que ce guide aidera à atteindre les normes requises.



Figure 54 : Agent effectuant un sondage de tirant d'eau

## 2. Importance

Un sondage de tirant d'eau précis est crucial pour plusieurs raisons :

- **Transparence et équité** : Il garantit la transparence et l'équité entre toutes les parties impliquées dans l'opération de chargement ou de déchargement (armateur, affréteur, terminal portuaire, etc.).
- **Facturation exacte** : Il permet de facturer la quantité précise de cargaison chargée ou déchargée, évitant ainsi les conflits financiers.
- **Stabilité du navire** : Un calcul précis du poids de la cargaison est essentiel pour maintenir la stabilité du navire pendant le voyage.

## Annexe

- **Sécurité** : Une répartition inégale de la cargaison peut compromettre la stabilité du navire et entraîner des problèmes de sécurité.

### 3. Les Étapes

Voici les étapes clés à suivre pour réaliser un sondage précis et efficace :

#### A. Préparation

- **Préparation du navire et de l'équipage** : L'équipage doit être informé du processus de sondage et préparé à collaborer avec les sondeurs à terre.
- **Coordination avec les intervenants extérieurs** : S'assurer que les sondeurs à terre sont prêts à l'arrivée du navire et disposent de l'équipement nécessaire.
- **Examen de la documentation du navire** : Consulter les documents tels que le plan de capacité des cuves, les tables de sondage et le livre de stabilité afin de vérifier l'état des compartiments et la capacité des réservoirs de ballast et d'eau douce.
- **Collecte d'échantillons d'eau de mer** : Prélever des échantillons d'eau de mer à différentes profondeurs et emplacements autour du navire pour mesurer la densité de l'eau, qui est nécessaire pour les calculs ultérieurs.



Figure 55 : Prélèvement d'un échantillon de ballast

#### B. Prise de sonde

- **Lecture des tirants d'eau** : Lire attentivement les tirants d'eau du navire à l'avant, au milieu et à l'arrière à l'aide d'un instrument approprié, en tenant compte du tirant d'eau moyen pour les calculs.
- **Sondage des compartiments** : Effectuer des sondages de tous les compartiments pouvant contenir de l'eau, tels que les réservoirs de ballast et d'eau douce, pour déterminer la quantité d'eau présente.
- **Enregistrement des données** : Documenter soigneusement toutes les lectures de tirant d'eau, les sondes de compartiment et les observations pertinentes sur les conditions environnementales.

#### C. Calculs et analyse

- **Correction des tirants d'eau** : Appliquer les corrections nécessaires aux lectures de tirant d'eau en tenant compte de facteurs tels que l'inclinaison du navire et la densité de l'eau.

## Annexe

- **Calcul du volume et du déplacement** : Utiliser les tirants d'eau corrigés et les tables hydrostatiques du navire pour calculer le volume immergé et le déplacement du navire avant et après le chargement ou le déchargement.
- **Détermination de la cargaison** : La différence entre le déplacement avant et après l'opération correspond au poids de la cargaison chargée ou déchargée.

### D. Opérations après chargement/déchargement

- **Répétition du sondage** : Répéter l'intégralité du processus de sondage (étapes 1 à 3) après l'opération de chargement ou de déchargement pour obtenir les mesures finales.
- **Comparaison des résultats** : Comparer les mesures initiales et finales pour déterminer la quantité exacte de cargaison manipulée.

### E. Rapport de sondage

- **Documenter les résultats** : Préparer un rapport de sondage détaillé qui documente toutes les étapes du processus, les données collectées, les calculs effectués et les conclusions finales.
- **Remarque importante** : La réalisation d'un sondage de tirant d'eau précis nécessite une connaissance approfondie des procédures et des calculs impliqués. Il est recommandé que le sondage soit effectué par un personnel qualifié ayant l'expérience nécessaire.

## 4. Problèmes à prendre en considération

Il est impossible de prévoir tous les problèmes envisageables qui pourraient survenir lors d'un sondage de tirant d'eau. Les navires et les ports présentent tellement de variations qu'il y aura toujours des circonstances imprévues nécessitant une décision immédiate.

Parmi les problèmes qui peuvent affecter sa précision :

- **Préparation inadéquate** : Un manque de préparation, tel que des réservoirs de ballast non calibrés ou des informations inexactes sur le navire, peut conduire à des erreurs de calcul.
- **Erreurs de lecture** : Des lectures inexactes des tirants d'eau ou des sondes de compartiment peuvent fausser les résultats.
- **Variations de densité de l'eau** : La densité de l'eau de mer peut varier en fonction de la température et de la salinité, ce qui peut nécessiter des corrections de calcul.
- **Mouvement du navire** : Le mouvement du navire causé par les vagues ou les courants peut rendre difficile la lecture précise des tirants d'eau.
- **Difficultés d'accès aux compartiments** : Certains compartiments du navire peuvent être difficiles d'accès pour le sondage, ce qui peut conduire à des estimations inexactes.
- **Manque de communication** : Une mauvaise communication entre l'équipage du navire et les sondeurs à terre peut entraîner des erreurs et des retards.

## Conclusion

Le sondage de tirant d'eau est une opération essentielle pour garantir la précision, la transparence et la sécurité des chargements et des déchargements de cargaison. En étant conscient des problèmes potentiels et en mettant en œuvre des stratégies d'optimisation, on peut améliorer la précision et l'efficacité globales de ce processus.