

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

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

---

Contribution à l'Optimisation des Processus de Préparation de Commandes et  
de Stockage au sein de l'Entrepôt Central de Distribution de TotalEnergies  
Lubrifiants Algérie

---

Realisé par : BELHADI Anas Abdelmalek & ZOUAOUI Sofia

Sous la direction de  
Dr. ZOUAGHI Iskander - ENP  
Mme. AIT BOUAZZA Sofia - ENP  
M.AMEZIANE Yazid - TotalEnergies

Présenté et soutenu publiquement le (08/07/2024)

Composition du jury :

Président : Dr. BELDJOUDI Samia ENP  
Promoteur : Dr. ZOUAGHI Iskander ENP  
Promotrice : Mme. BOUAZZA Sofia ENP  
Examineur : Mr. BOUKABOUS Ali ENP

ENP 2024

---

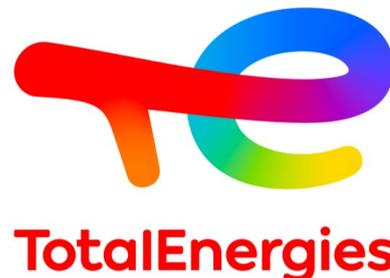


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Industriel

Mémoire de projet de fin to d'études

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

---

Contribution à l'Optimisation des Processus de Préparation de Commandes et  
de Stockage au sein de l'Entrepôt Central de Distribution de TotalEnergies  
Lubrifiants Algérie

---

Realisé par : BELHADI Anas Abdelmalek & ZOUAOUI Sofia

Sous la direction de  
Dr. ZOUAGHI Iskander- ENP  
Mme. AIT BOUAZZA Sofia - ENP  
M.AMEZIANE Yazid - TotalEnergies

Présenté et soutenu publiquement le (08/07/2024)

Composition du jury :

Président : Dr. BELDJOUDI Samia ENP  
Promoteur : Dr. ZOUAGHI Iskander ENP  
Promotrice : Mme. BOUAZZA Sofia ENP  
Examineur : Mr. BOUKABOUS Ali ENP

ENP 2024

---

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحسين عملية تحضير الطلبات من خلال إعادة تنظيم المخزون داخل المركز الرئيسي لتوزيع زيوت التشحيم التابع لشركة توتال إنرجيز الجزائر. يبدأ بمقدمة تليها تشخيص داخلي من خلال تدقيق لوجستي لتحديد المشاكل الرئيسية في المجال.

يقترح هذا المشروع نظام عنونة يعتمد على تصنيف ثلاثي الأبعاد، ABC/FMR/XYZ، إلى جانب أداة لدعم القرار. لتطوير هذه الأداة، بدأنا بتوقع الطلب على المستوى التشغيلي لتوقع والتحكم في تقلبات الطلب والحصول على رؤية أفضل. يستخدم هذا التحليل برمجة رياضية بهدف واحد لتقليل التكاليف. بعد ذلك، يتم تنفيذ تخصيص ديناميكي، متكامل مع لوحة تحكم تتبع والتحكم في الأهداف المحددة بوظيفة إدارة المخزون.

تهدف هذه الحلول إلى تنسيق سلسلة التوريد بأكملها لشركة توتال إنرجيز الجزائر بفعالية، لتلبية متطلبات السوق وإرضاء العملاء الداخليين والخارجيين.

**الكلمات المفتاحية:** اللوجستيات الداخلية، نظام العنونة والحجز، تصنيف، ABC/FMR/XYZ، التنبؤ، التخصيص الديناميكي، دعم القرار، لوحات التحكم.

## Abstract

This work aims to improve the order preparation process by reorganizing inventory within the main distribution center of Total Énergies Lubrifiant Algérie. It begins with an introduction followed by an internal diagnostic through a logistics audit to identify the main issues in the field.

This project proposes an addressing system based on a 3D classification ABC/FMR/XYZ, along with a decision support tool. To design this tool, we began with a operational feasibility study to anticipate and control demand fluctuations for better visibility. Next, we will propose a single-objective mathematical model to minimize costs. Following this, a dynamic allocation system is implemented, integrated into a dashboard for tracking and controlling objectives set by the inventory management function.

This solution aims to efficiently coordinate the entire Supply Chain of TELA, effectively meeting market demands and satisfying both internal and external customers.

**Keywords :** Internal logistics, Addressing and reservation system, ABC/FMR/XYZ classification, Forecasting, Dynamic allocation, Decision support, Dashboards.

## Résumé

Ce travail a pour objectif d'améliorer le processus de préparation de commandes en réorganisant les stocks au sein du centre de distribution principal de Total Énergies Lubrifiant Algérie. Il démarre par une présentation suivie d'un diagnostic interne réalisé à travers un audit logistique, permettant d'identifier les principaux problèmes sur le terrain.

Ce projet propose un système d'adressage basé sur une classification 3D ABC/FMR/XYZ, ainsi qu'un outil d'aide à la décision. Pour concevoir cet outil nous avons commencé par une étude prévisionnelle sur le plan opérationnel pour anticiper et contrôler les fluctuations de la demande et avoir une meilleure visibilité. Nous allons par la suite proposer un modèle mathématique mono-objectif pour minimiser les coûts. Ensuite, une allocation dynamique est mise en place, intégrée à un tableau de bord permettant le suivi et le contrôle des objectifs définis par la fonction de gestion des stocks.

Cette solution vise à coordonner efficacement l'ensemble de la Supply Chain de TELA, répondant au mieux aux demandes du marché, satisfaisant les clients internes et externes.

**Mots clés :** Logistique interne, Système d'adressage et de réservation, Classification ABC/FMR/XYZ, Prévisions, Allocation dynamique, Aide à la décisions, Tableaux de bord.

## ***Dédicaces***

*Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont rendu ce mémoire possible.*

*À ma mère, une femme extraordinaire dont les sacrifices ont permis à son fils de poursuivre ses rêves et d'atteindre ses objectifs.*

*À mon père, pilier de mon développement et de mon évolution, dont les principes ont façonné l'homme que je suis aujourd'hui.*

*À mon binôme, Sofia, qui a partagé avec moi le défi et l'enthousiasme de mener à bien ce projet.*

*À mes chers amis El Yassia, Mohamed, Aymen, et Mehdi, dont le soutien a été une source constante d'inspiration.*

*À mes camarades de la promotion du Génie Industriel, spécialement Fares, Haitem, Sofian, Hani, et Raihan, pour leur camaraderie et leur esprit d'équipe.*

*À nos respectés encadrants, Monsieur ZOUAGHI et Madame AIT BOUAZAA, pour leurs conseils avisés et leur soutien indéfectible.*

*À l'équipe de TotalEnergies : Yazid, Islem, Farouk, et Yamina, pour leur aide précieuse et leur encouragement.*

*À tous les membres, passés, présents et futurs, de l'IEC, dont l'amitié et la collaboration ont enrichi mon parcours bien au-delà des attentes.*

*Et enfin, à tous ceux qui ont cru en moi, soutenu mes efforts et contribué à ma réussite.*

*Anas*

## *Dédicaces*

*À Dieu Tout-Puissant, source de ma foi inébranlable, je vous exprime ma gratitude pour le courage, la volonté et la force que vous m'avez accordés.*

*À la femme extraordinaire, ce travail est dédié à ta force, ton amour infini et ton dévouement sans faille. Tes sacrifices et ta générosité ont façonné mon parcours et ont illuminé ma vie de manière incommensurable. Je suis profondément reconnaissante pour tout ce que tu as fait pour moi. Je t'aime plus que les mots ne peuvent le dire, maman.*

*À toi, mon cher père, merci pour ton soutien sans faille et tes paroles d'encouragement. Tu as toujours cru en moi, et ça compte énormément.*

*À ma grande sœur Babine, dont l'énergie positive m'a toujours porté, je t'aime. À mes petits frères, Wassim et Wail, la source de joie de notre famille. Vos encouragements et votre présence ont été des piliers essentiels dans la réalisation de mon projet.*

*À Anas, mon binôme, pour son précieux partenariat tout au long de ce projet. Sa présence et son soutien ont été d'une valeur inestimable.*

*À ma chère grand-mère, que Dieu t'accueille dans son vaste paradis. Ta mémoire restera gravée éternellement dans nos cœurs, où tu demeureras à jamais présente.*

*À mon cher grand-père, tes paroles pleines de confiance en moi resteront gravées à jamais dans mon cœur. Que Dieu te protège pour nous. Et à ma chère grand-mère Nana, que Dieu veille sur toi pour nous.*

*À mes chères tantes adorées, Nora, Nedjma, Salima, Lynda et Imen, votre amitié est un cadeau inestimable, et je suis profondément reconnaissante de vous avoir à mes côtés.*

*À mes oncles bien-aimés Mahmoud et Azzedine, que Dieu vous garde et vous protège. Et une dédicace spéciale à mon cher petit cousin Redha, qui occupe une place particulière dans mon cœur.*

*À toutes mes adorables cousines, Nesrine, Amira, Lyna, Yasmine, Norsine, Malek, Anya, Ritadj, et à mes chères jumelles Tanina et Aziza, je vous aime énormément.*

*À mes chères amies Meriem, Melissa, chahinaz, ainsi qu'à toutes mes camarades de classe, je vous remercie du fond du cœur pour votre amitié précieuse et vos encouragements constants. Je suis reconnaissante d'avoir la chance de partager tant de moments inoubliables avec vous*

*Sofia*

# Remerciement

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre gratitude envers Dieu, source infinie de sagesse et de force, qui nous a guidés tout au long de ce parcours académique, rendant ainsi ce travail possible.

Nous souhaitons adresser une reconnaissance particulière et chaleureuse à nos parents bien-aimés. Leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leur amour ont été des piliers inestimables pour nous.

Une mention spéciale est dédiée à notre mentor estimé, M. Iskander Zouaghi. Son accompagnement précieux, son dévouement, son humour et sa bienveillance ont éclairé notre chemin. Sa confiance et son soutien ont été essentiels dans la réalisation de ce projet. Nous espérons sincèrement que ce travail reflète l'excellence qu'il incarne.

Nous exprimons ici notre profonde gratitude. À Mme Ait Bouazza, pour son encadrement et son soutien constants tout au long de notre projet. Merci pour vos directives précieuses, votre soutien et votre générosité.

Nous exprimons également notre gratitude envers M. AMEZIANE Yazid, Manager du Transport et Logistique chez TotalEnergies, pour avoir ouvert les portes de son domaine d'expertise et pour son soutien précieux. Sa générosité a été inestimable.

Un grand merci est également adressé à toute l'équipe du département Logistique et Transport pour leur accueil chaleureux et leur soutien pendant notre stage.

Nous saluons respectueusement et exprimons notre gratitude envers l'ensemble du corps professoral du Département de Génie Industriel. Leurs enseignements éclairés ont constitué le socle de ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements aux honorables membres du jury, Mme.Samia BELD-JOUDI ainsi que M.Ali BOUKABOUS pour le temps et l'expertise qu'ils consacrent à l'évaluation de notre travail. C'est un privilège et un honneur d'avoir notre travail examiné par des personnes aussi éminentes.

Ce travail est le fruit d'un effort collectif, et nous sommes profondément reconnaissants envers chaque personne qui a contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

# Table des matières

Liste des tableaux

Table des figures

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>Introduction générale</b>	<b>13</b>
<b>1 Étude de l'existant</b>	<b>16</b>
1. Exploration de TotalEnergies à l'Échelle Mondiale	17
1.1. Création et Développement de TotalEnergies	18
1.2. Secteurs d'Intervention et Expansion Globale	19
1.3. Branche Marketing et Services (MS)	20
2. Exploration de TotalEnergies à l'Échelle Nationale	21
3. TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA)	22
4. Diagnostic intern et Énoncé de la Problématique	22
4.1. Description des Processus au sein de TELA	22
4.2. Département Logistique et Transport	25
4.3. Description de l'entrepôt Central de Distribution	26
4.4. Évaluation du Temps à l'Intérieur de l'Entrepôt	27
4.5. Audit des pratiques Logistiques	28
4.6. Énoncé de la problématique	31
<b>2 État de l'art</b>	<b>34</b>
1. Supply Chain et Logistique	34
1.1. Supply Chain, Concepts et Structure	34
1.2. Supply Chain Management	37
1.3. Logistique	37
2. Logistique interne, et Gestion des entrepôts	38
2.1. Stratégie de stockage	40
2.2. Traçabilité	43
3. Prévion de la Demande stratégie et méthodes	44
3.1. Méthode de Prévion Statistiques	45
3.2. Méthodes de Prévions basées sur le Machine Learning	50
4. Planification et Suivi de la Performance Logistique	51
4.1. Problème de planification de stockage et d'allocation dynamique	52
4.2. Programmation Linéaire et Résolution avec Python Upper Layer Process	53
4.3. Indicateurs de Performance	56
4.4. Tableaux de Bord : Définition, Typologie et Méthodologies de Construction	57
4.5. Technologies de Visualisation de la Performance	58
<b>3 Résolution de la problématique</b>	<b>60</b>
1. Système d'Adressage d'Entrepôt	61
1.1. Classification Bi-Critère des produits	61
1.2. Classification XYZ ( fluctuations de la demande )	63
2. Démarches Prévionnelle	63
2.1. Prévion par Box and Jenkins	66
2.2. Prévions par Lissage exponentiel simple	69
2.3. Prévion par Facebook Prophet	70
2.4. Valorisation des résultats	71
3. Modélisation mathématique	72
3.1. Formulation Mathématique du Modèle d'Optimisation des Stocks	72
3.2. Développement du Modèle d'Optimisation du Stock	73

3.3.	Validation du Modèle d'Optimisation du Stock . . . . .	74
3.4.	Formulation Mathématique du Modèle d'Allocation Dynamique des Emplacements . . . . .	76
3.5.	Développement et Validation du Modèle d'Allocation Dynamique . . . . .	77
4.	Conception de l'outil de suivi et de contrôle de la performance . . . . .	81
4.1.	Choix de la démarche de construction du tableau de bord . . . . .	81
4.2.	Déroulement de la méthode GIMSI . . . . .	81
4.3.	Interface du tableau de bord . . . . .	83
<b>Conclusion Générale</b>		<b>86</b>
<b>Annexes</b>		<b>88</b>

# Liste des tableaux

1.1	Grille d'évaluation indicateurs . . . . .	29
1.2	Listes des dysfonctionnements / Actions . . . . .	30
2.1	Indicateurs de Fiabilité des prévisions . . . . .	51
3.1	Classification multicritère Fûts . . . . .	62
3.2	Classification multicritère Carton/Bidon . . . . .	63
3.3	Prévision LES Avril2024-Août2024 . . . . .	69
3.4	Prévision Facebook Prophet Avril2024-Août2024 . . . . .	71
3.5	Indicateur de Fiabilité LES / Facebook Prophet . . . . .	71
3.6	Quantité de stock . . . . .	76
3.7	Allocation adresse produits . . . . .	80
3.8	Allocation adresse produits . . . . .	81
3.9	Classification ABC Fûts . . . . .	89
3.11	Classification ABC Carton-Bidon . . . . .	90
3.13	Classification FMR Fûts . . . . .	91
3.15	Classification FMR Carton-Bidon . . . . .	91
3.17	Classification XYZ Fûts . . . . .	92
3.19	Classification Hybride ABC/FMR Fûts . . . . .	93
3.21	Classification Hybride ABC/FMR Cartons . . . . .	94

# Table des figures

1	Schéma récapitulatif de la démarche et structure du chapitre 1	16
2	Volume du marché 2024-2029 (Mordor Intelligence)	17
3	Croissance du marché des lubrifiants entre 2023-2028 par région (Mordor Intelligence)	17
4	Présence mondial de TotalEnergies(Classement 2022   Global 500   Fortune)	18
5	Historique TotalEnergies 1924-2024	19
6	Leaders du marché des lubrifiants (Mordor Intelligence)	20
7	Organigramme positionnant TELA et TBA	21
8	Organigramme TELA - TEBA (Document Intern à TotalEnergies Algérie)	22
9	Cartographie du Macro Processus Supply Chain TELA	24
10	Cartographie des processus Logistique et Transports-BPMN	25
11	Schématisation dépôts HADJI-SAFAR	26
12	Répartition des fonctions selon la durée passée dans l'entrepôt (1 semaine d'observation)	27
13	Répartition des tâches en fonction du temps passé en préparation de commandes	27
14	Démarche Audit Logistique	28
15	Triptyque Qualité-Coût-Livraison	29
16	Matrice Effort/Impact	31
1	Schéma récapitulatif de la démarche et structure du chapitre 2	34
2	Structure de la Chaîne logistique (Lambert et Cooper 2000)	35
3	Les flux de la chaîne logistique	36
4	Supply Chain Management (Irons Systems)	37
5	Entrepôt Centrale (Mecalux)	38
6	Schéma des processus au sein de l'entrepôt	39
7	Classification Hybride ABC/FMR (Julian CHARLES 2023)	41
8	Classification ABC/XYZ (MRPeasy)	42
9	Tracabilité Interne	44
10	Différents types d'approches quantitatives de prévision	45
11	Étape de prevision avec Méthodes auto-projectives	46
12	Stratégie du Test de Dickey-Fuller	48
13	Processus de prévision par Box et Jenkins	49
14	Étapes des prévisions basées sur le Machine Learning	50
15	Facebook Prophet logo	51
16	Les critères des objectifs SMART	56
17	Outil de visualisation de la performance	58
1	Schéma récapitulatif de la démarche et structure du chapitre 3	60
2	Matrice Décisionnelle ABC/FMR	62
3	Évolution de volumes des commandes 2023-2024	64
4	Corrélogramme de la série brute (Eviews)	64
5	Résultats Test de ficher (Utilitaire d'analyse)	65
6	Test sur la tendance	65
7	Test sur la constante	66
8	Série Rubia Tir : Automatic ARIMA Forecasting (Eviews)	67
9	Test sur les paramètres	67
10	Test de normalité	68
11	Corrélogramme des résidus	68
12	Prévisions LES de la série RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L	69
13	Code des previsions par Facbook prophet	70
14	Prédiction de la Séries Temporelle avec Prophet (Capture d'écran Google Colab)	71
15	Code du modèle d'optimisation du stock	74
16	Calcul du Stock de sécurité Trimestriel (Code python : Google COLAB)	75
17	Préparation des données	75

18	Affichage des résultats . . . . .	75
19	Résultats des adresses des produits . . . . .	80
20	Interface du tableau de bord . . . . .	84
21	Indicateurs de performance Dépôts TELA . . . . .	94
22	Système de notation KPI . . . . .	95
23	Questionnaire-Audit DALOGUEWAY . . . . .	95
24	Score standard . . . . .	95
25	Système de notation . . . . .	96
26	Tableau de synthèse de prévision . . . . .	97
27	Système d'adressage dépôts HADJI . . . . .	97
28	RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L . . . . .	98

# LISTE DES ABREVIATIONS

**TELA** : TotalEnergie Lubrifiants Algérie

**TEBA** : TotalEnergies Bitumes Algérie

**TCAM** : Taux de croissance annuel moyen

**MS** : Marketing et Services

**AMO** : TotalAfrique et Moyen Orient

**GIMSI** : Généralisation, Information, Méthode et Mesure, Système et Systémique, Individuel et Initiative

**LES** : Lissage Exponentiel Simple

**KPI** : Key Performance Indicator

**BJ** : Box and Jenkins

**FB** : Facebook Prophet

**FMR** : Fréquent-Moyen-Rare

**CV** : Coefficient de Variation

**AR** : Auto Régressif

**MAPE** : Erreur Moyenne Absolue en Pourcentage

**MAD** : Écart Absolu Moyen

**BPMN** : Business process model and notation

**WMS** : Warehouse Management System

# Introduction Générale

# Introduction générale

*“L’efficacité logistique n’est pas un luxe, c’est une nécessité pour la compétitivité des entreprises”*

**Martin Christopher - 1980**

Dans le monde actuel, qui évolue à une vitesse vertigineuse, les entreprises sont confrontées à un défi de taille : innover en permanence pour rester à flot dans un océan de concurrence. Les critères traditionnels tels que l’efficacité, le coût et le temps, bien qu’importants, ne sont plus les seuls facteurs de succès. L’ère numérique a introduit une nouvelle dimension dans le paysage des affaires, avec de nouvelles attentes et exigences qui obligent les entreprises à se transformer pour rester compétitives.

Le secteur des lubrifiants, avec ses particularités et défis spécifiques, n’échappe pas à cette réalité. Ce marché dynamique est influencé par les avancées technologiques et les contraintes environnementales, nécessitant une adaptabilité et une réactivité constantes. TotalEnergies, l’un des leaders mondiaux dans le domaine de l’énergie et des lubrifiants, recherche continuellement des moyens d’améliorer et d’optimiser ses processus afin de maintenir son avantage concurrentiel et sa position mondiale.

Dans ce contexte, TotalEnergies Lubrifiant Algérie s’efforce d’atteindre une efficacité maximale en optimisant ses processus pour répondre pleinement à la demande. Ainsi, dans le cadre de notre projet de fin d’études, nous étions intégrés au sein du pôle de la direction d’exploitation, plus précisément au département logistique et transport, où nous avons décidé de nous concentrer sur l’optimisation des opérations de l’entrepôt central de distribution à Blida, un maillon essentiel pour l’amélioration de l’ensemble de la Supply Chain de TELA.

Dans une première étape, nous avons réalisé un diagnostic interne en évaluant chaque processus opérationnel. Cet examen a été suivi d’un audit logistique basé sur un référentiel spécifiquement adapté à la nature et à la taille de l’entrepôt de TELA. Ce travail nous a permis d’identifier les goulots d’étranglement présents dans les opérations, en particulier ceux affectant le processus le plus chronophage.

À partir de là, TELA se retrouve confronté à un défi de taille : améliorer de manière significative la gestion de ses stocks en améliorant l’utilisation de l’espace de stockage et en organisant l’entrepôt afin de remédier aux dysfonctionnements qui entravent ses opérations quotidiennes. Suite à ce diagnostic, nous avons identifié une problématique principale formulée comme suit :

***Comment améliorer l’efficacité des opérations au sein de l’entrepôt central de distribution de TELA ?***

Pour répondre à cette question, un système d’adressage a d’abord été mis en place pour classer les produits selon deux critères : le volume et la fréquence des commandes. Ensuite, une classification XYZ a été effectuée pour analyser le comportement de la demande des produits. Par la suite, une étude prévisionnelle sur le plan opérationnel a été réalisée pour anticiper et contrôler les fluctuations de la demande des produits à forte volatilité, afin d’obtenir une meilleure visibilité sur leur rythme.

Cette étude a été menée sur un ensemble d’articles considérés comme importants selon les résultats de la classification bi-critère ABC/FMR. Un outil opérationnel d’aide à la décision a été proposé, capable de minimiser le coût tout en déterminant la bonne quantité à stocker par article. De plus, pour les produits à forte variabilité, un modèle dynamique a été développé par la suite permettant d’allouer dynamiquement les adresses des produits afin de faciliter le processus de préparation des commandes et la mise en stock, deux activités centrales de l’entreprise. En fin, un tableau de bord est mis en place pour le suivi de performance opérationnel et périodique.

Ce rapport est structuré en trois chapitres, chacun jouant un rôle clé dans l’analyse et la résolution de notre problématique concernant l’optimisation du processus de préparation des dépôts.

## **Chapitre 1 : Exploration de TotalEnergies et Audit des Pratiques Logistiques**

Ce chapitre explore le marché des lubrifiants en se concentrant sur TotalEnergies à l'échelle mondiale, puis en zoomant sur sa filiale en Algérie, plus précisément TotalEnergies Lubrifiants Algérie, où se déroule notre étude. Ensuite, nous évaluons les pratiques logistiques en place chez TELA, en les comparant aux meilleures pratiques établies dans le référentiel. Enfin, nous identifions la problématique qui constituera l'objet de notre projet.

## **Chapitre 2 : Fondements Théoriques**

Ce chapitre aborde les bases théoriques nécessaires. Il commence par définir les termes et concepts de la Supply Chain, de la logistique, puis examine les modèles prévisionnels, les modèles de programmation mathématique ainsi que les démarches de suivi de performance logistique.

## **Chapitre 3 : Contributions et solutions proposées**

Pour finir, ce chapitre est consacré à la mise en pratique de la solution. Nous modélisons mathématiquement le problème, vérifions et validons le modèle.

# CHAPITRE 1 : Exploration de TotalEnergies et Audit des Pratiques Logistiques

*“ Une cause bien défendue est une cause juste.”*

*Gheorghe Calinescu*

# Chapitre 1

## Étude de l'existant

Dans ce premier chapitre, nous établissons le cadre général de notre projet de fin d'études. Nous commençons par une exploration de TotalEnergies à l'échelle mondiale, suivie d'une présentation du marché mondial et d'un historique de la création de cette entreprise, mettant en lumière son environnement global et ses diverses activités, notamment sa branche Marketing Services (MS). Ensuite, nous examinons TotalEnergies à l'échelle nationale, en effectuant un zoom sur le marché national. Nous nous concentrons ensuite sur la division Marketing & Services (M&S) Algérie, à savoir TELA, où nous allons mener notre projet de fin d'études. Enfin, nous portons une attention particulière à la subdivision de la direction exploitation, en nous focalisant sur le département Logistique et Transport, où se déroule notre projet.

La seconde partie de ce chapitre se concentre sur le diagnostic et l'audit logistique interne effectués au sein de l'entrepôt central de distribution. L'objectif est de détecter les divers dysfonctionnements qui impactent l'efficacité des processus. Après avoir les identifiés, nous définirons notre problématique qui constituera le sujet de notre projet de fin d'études.

La structure à suivre dans ce chapitre est synthétisée dans la figure 1.

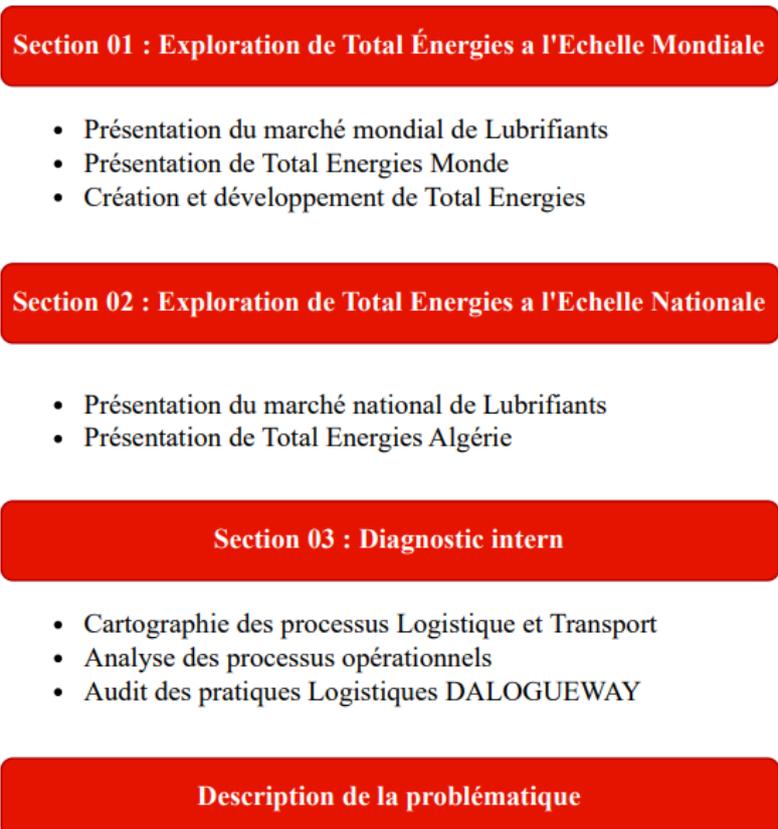


FIGURE 1 – Schéma récapitulatif de la démarche et structure du chapitre 1

# 1. Exploration de TotalEnergies à l'Échelle Mondiale

## Marché Mondial des Lubrifiants

Dans le paysage mondial actuel, le marché des lubrifiants émerge comme un secteur en plein essor, affichant une croissance exponentielle sans ralentissement. Cette industrie dynamique, qui englobe la production et la distribution d'une vaste gamme de lubrifiants, de l'huile moteur aux fluides de transmission, joue un rôle crucial dans une multitude d'applications, allant de l'automobile à l'industrie de l'énergie en passant par la construction. Avec une estimation de 44,05 milliards de litres en 2024 et une projection à 52,36 milliards de litres d'ici 2029 comme le montre : (*voir figure 2*), le marché mondial des lubrifiants est en constante expansion, présentant un TCAC prometteur de 3,52%.

Cette croissance remarquable est stimulée par divers facteurs, notamment l'augmentation de la demande de véhicules et d'équipements industriels, le développement des infrastructures et l'expansion des industries manufacturières. De plus, les avancées technologiques dans le domaine des lubrifiants, telles que le développement de produits respectueux de l'environnement et de formulations haute performance, contribuent également à stimuler la demande sur le marché mondial.

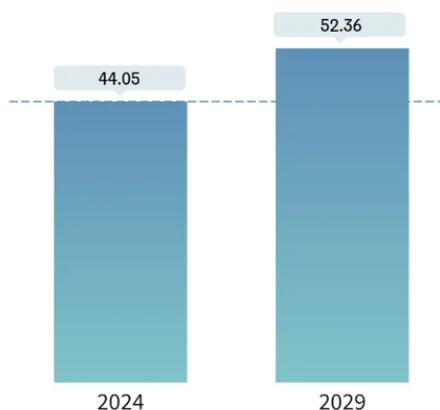


FIGURE 2 – Volume du marché 2024-2029 (Mordor Intelligence)

La forte croissance se concentre principalement en Asie-Pacifique, où la part de marché est estimée à environ 38% en 2024. Cette région est devenue un leader mondial dans la consommation de lubrifiants, stimulée par son expansion économique, son industrie automobile florissante et sa population en augmentation.

Les principaux contributeurs à cette demande sont des pays comme la Chine, l'Inde et le Japon, qui figurent parmi les plus grands marchés automobiles mondiaux. Cette tendance est clairement illustrée : (*Figure 3*), montrant la croissance du marché des lubrifiants entre 2023 et 2028 par région.

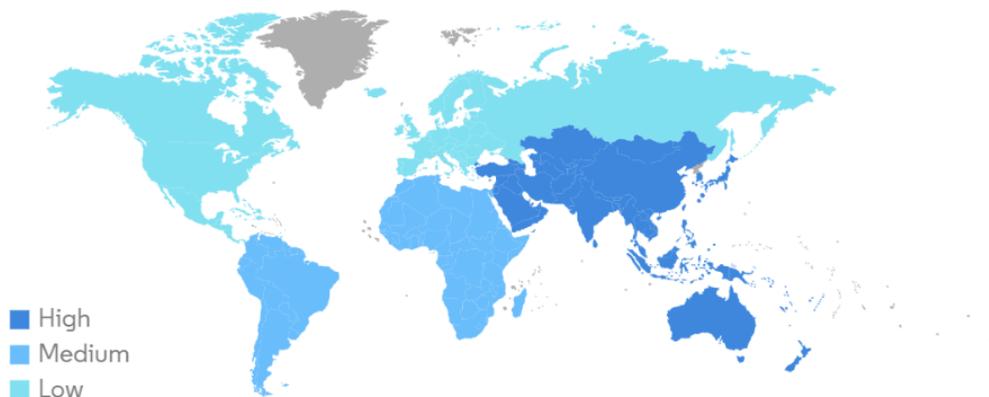


FIGURE 3 – Croissance du marché des lubrifiants entre 2023-2028 par région (Mordor Intelligence)

## TotalEnergies à l'Échelle Mondiale

Dans ce contexte dynamique de l'industrie énergétique, des entreprises majeures telles que **TotalEnergies** se distinguent par leur capacité à naviguer avec succès à travers les défis et les opportunités présentés par un marché en constante évolution. Fondée en 1924, TotalEnergies a évolué pour devenir une multinationale énergétique de premier plan, étendant son empreinte dans 125 pays à travers le monde. Au sein du marché mondial des lubrifiants, TotalEnergies se positionne comme l'un des cinq principaux acteurs, avec une part de marché significative. Collectivement, TotalEnergies, BP (Castrol), ExxonMobil, Royal Dutch Shell et China National Petroleum Corporation détiennent 40,21% du marché global des lubrifiants.

L'engagement de TotalEnergies envers une énergie fiable et durable se manifeste à travers sa diversification stratégique au-delà de son activité traditionnelle dans le pétrole et le gaz naturel. En investissant massivement dans les énergies renouvelables et les technologies de pointe, TotalEnergies répond à la nécessité croissante d'une transition vers des sources d'énergie plus propres et durables.

La présence mondiale de TotalEnergies, avec plus de 800 sites industriels et un effectif de plus de 101 309 collaborateurs issus de 160 nationalités différentes, témoigne de son rôle central dans le paysage énergétique mondial. En visant la neutralité carbone d'ici 2050 et en fournissant une énergie abordable, fiable et propre à ses clients, TotalEnergies s'inscrit dans une stratégie globale visant à relever les défis énergétiques du XXIe siècle tout en contribuant à la croissance économique et au développement durable à l'échelle mondiale. La présence étendue de l'entreprise à travers le monde est illustrée dans la (*Figure 4*).

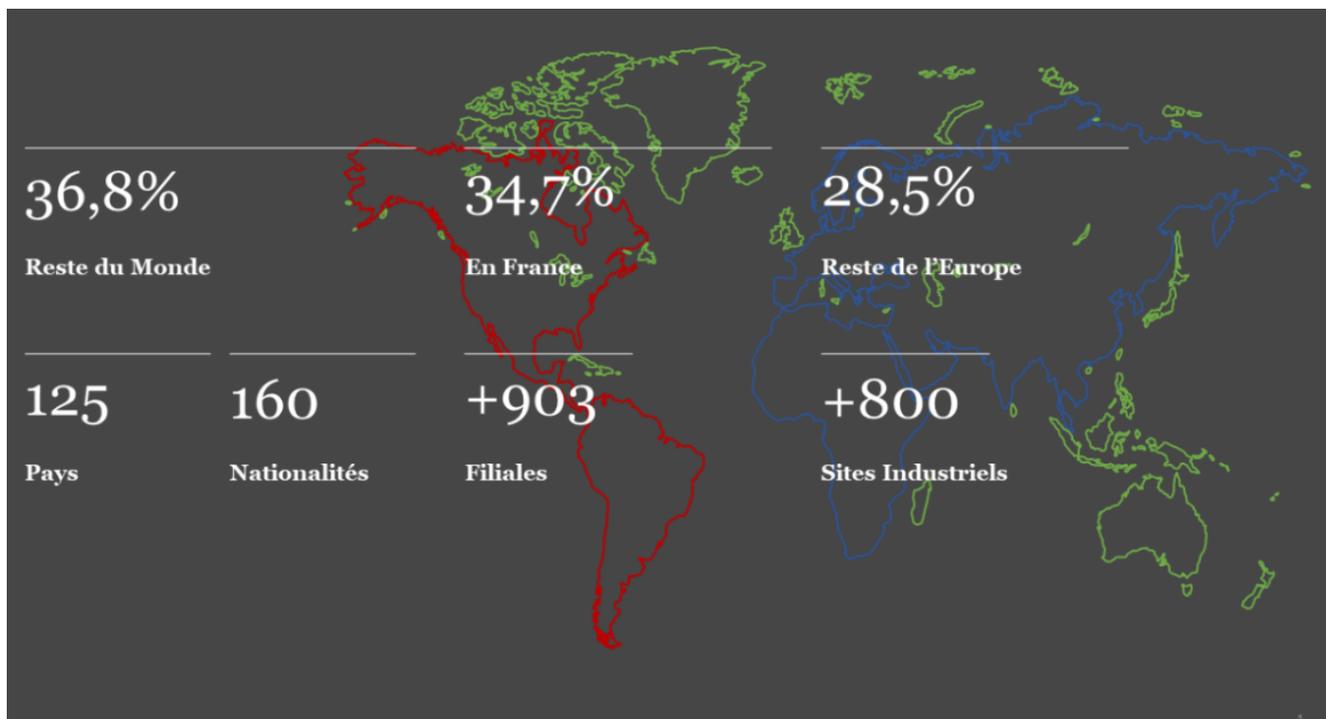


FIGURE 4 – Présence mondiale de TotalEnergies(Classement 2022 | Global 500 | Fortune)

Pour mieux comprendre l'évolution et l'impact de TotalEnergies, examinons l'historique détaillé de l'entreprise.

### 1.1. Création et Développement de TotalEnergies

TotalEnergies a évolué au fil des décennies pour devenir un acteur majeur de l'énergie, passant de l'exploration pétrolière à la diversification dans le gaz, la chimie et les énergies renouvelables.

Face à une concurrence de plus en plus féroce sur le marché mondial de l'énergie, l'entreprise s'est engagée à renforcer son efficacité opérationnelle et à optimiser ses processus. Cela implique une optimisation de ses opérations logistiques, de la chaîne d'approvisionnement à la distribution, pour améliorer la rentabilité, réduire les coûts et offrir des produits et services de haute qualité à ses clients à travers le monde .

L'historique de TotalEnergies est illustrée dans la figure 5.

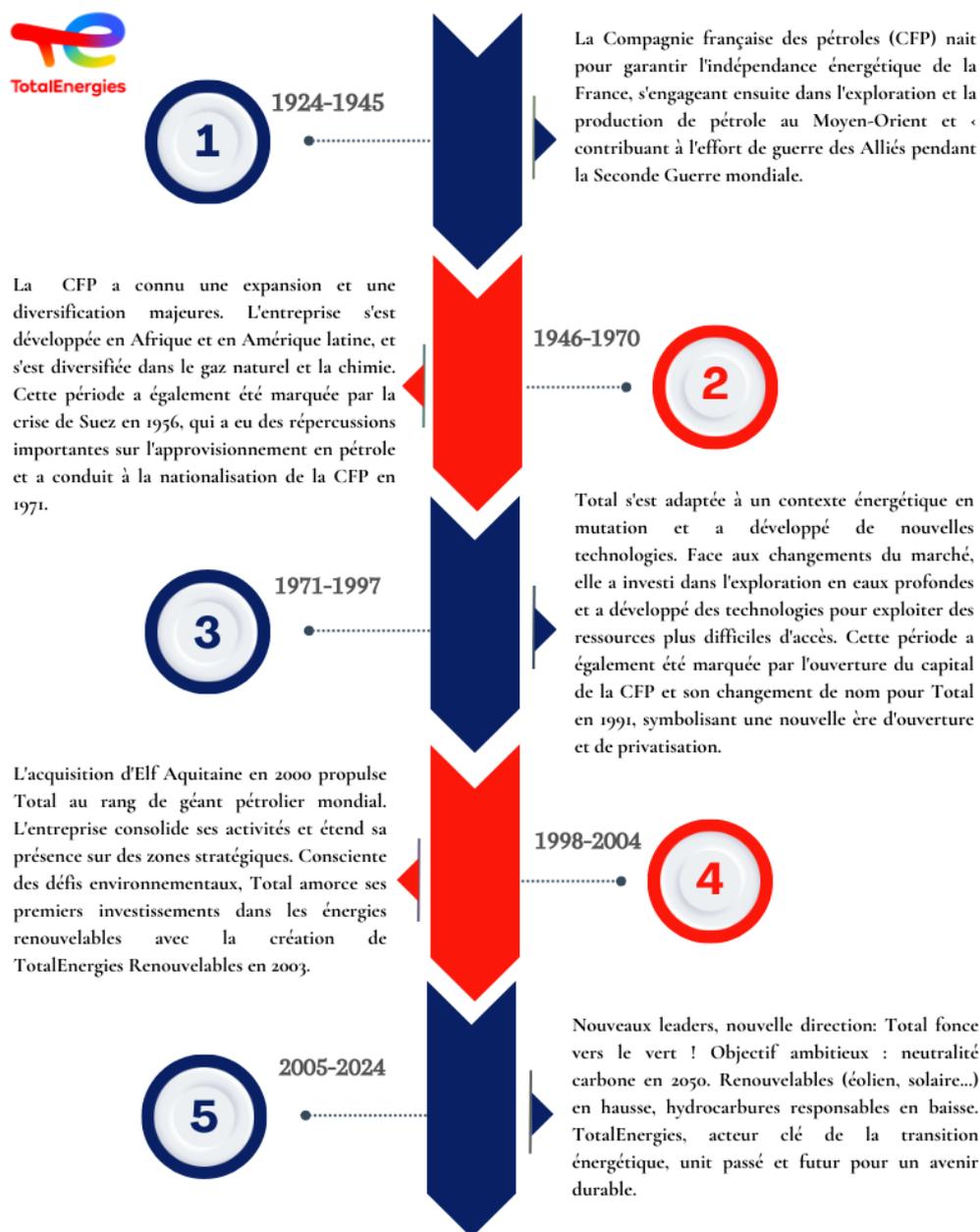


FIGURE 5 – Historique TotalEnergies 1924-2024

Cette évolution démontre l'importance cruciale de l'innovation, de l'adaptation et de l'excellence opérationnelle dans un secteur hautement concurrentiel, où le succès continu et l'impact durable exigent une gestion proactive et rigoureuse des opérations. TotalEnergies incarne cette approche à travers ses divers secteurs d'intervention que nous allons les présenter dans la section suivante.

## 1.2. Secteurs d'Intervention et Expansion Globale

Le groupe TotalEnergies s'est engagé dans tous les segments critiques de l'industrie pétrolière et gazière, couvrant à la fois l'amont et l'aval de la chaîne de valeur. Dans le domaine de l'exploration et de la production (amont), le groupe se concentre sur l'exploration de nouvelles réserves de pétrole et de gaz naturel, ainsi que sur le développement et la production de ces ressources. Cela inclut également l'exploitation du gaz naturel liquéfié (GNL), une composante essentielle de son portefeuille énergétique.

D'autre part, dans le raffinage et la chimie (aval), TotalEnergies opère des installations de raffinage qui traitent

le pétrole brut pour produire divers produits pétroliers, tels que l'essence, le diesel, et d'autres produits dérivés. Cette division inclut également des activités de trading et de transport maritime pour assurer la distribution efficace de ces produits sur les marchés mondiaux.

### 1.3. Branche Marketing et Services (MS)

La Branche Marketing et Services (MS), fondée en janvier 2012, offre une vaste gamme de produits multi-énergies à une clientèle diversifiée, comprenant des professionnels et des particuliers. Cette gamme comprend des lubrifiants, des bitumes, des biocarburants, des recharges pour véhicules électriques, ainsi que du gaz pour le transport routier et maritime. L'objectif principal est de soutenir la mobilité des clients tout en contribuant à la réduction de leur empreinte carbone.

Avec environ 16 000 stations-service dans le monde, la branche MS occupe la quatrième place mondiale dans le secteur des lubrifiants, en proposant des produits hautement performants adaptés aux besoins de l'automobile, de l'industrie et de la marine. Pour mieux servir les clients B2B, l'entreprise s'appuie sur un réseau de vente étendu, une logistique mondiale efficace et une offre diversifiée.

Implantée dans 107 pays, cette branche emploie 31 000 collaborateurs dédiés à fournir des produits et services de haute qualité. Chaque jour, plus de 8 millions de clients témoignent de l'engagement continu de l'entreprise envers l'excellence et la satisfaction client.

#### TotalEnergies Afrique et Moyen-Orient (AMO)

La branche M&S est responsable de l'AMO, qui est divisée en six zones géographiques distinctes : l'Océan Indien, l'Afrique Australe, la Méditerranée et le Moyen-Orient, l'Afrique du Centre et de l'Est, l'Afrique de l'Ouest, et le Nigeria. Au cours des dernières années, le groupe a connu une croissance significative sur ces marchés en pleine expansion, augmentant la couverture de son réseau de 4 500 stations-service en 2013 à 4 718 en 2014, dont 4 200 en Afrique.

Dans la région AMO, la branche MS s'appuie principalement sur l'usine de production de lubrifiants de Dubaï, en opération depuis 1954. En outre, de nouvelles usines ont été ouvertes en Égypte, en Arabie Saoudite et en Algérie en 2012, 2013 et 2020 respectivement.

TotalEnergies, quant à lui, est présent dans 41 pays d'Afrique et considère ce marché comme une opportunité prometteuse. En 2014, la production d'hydrocarbures de TotalEnergies en Afrique représentait 30 % de la production totale du groupe. De plus, MS est devenu un partenaire de choix pour les clients miniers en Afrique, leur fournissant des solutions d'approvisionnement et de gestion de carburants et de lubrifiants.

En parallèle, le marché des lubrifiants en Afrique connaît une croissance annuelle moyenne (CAGR) de plus de 1,47 % au cours des cinq prochaines années, avec des acteurs clés tels que BP PLC, Chevron Corporation, Exxon Mobil Corporation, Royal Dutch Shell PLC et TotalEnergies. L'Algérie, en particulier, illustre cette dynamique avec une croissance notable dans le secteur des lubrifiants, stimulée par l'augmentation du parc automobile et l'industrialisation rapide du pays, une tendance que nous allons explorer plus en détail dans ce qui suit.

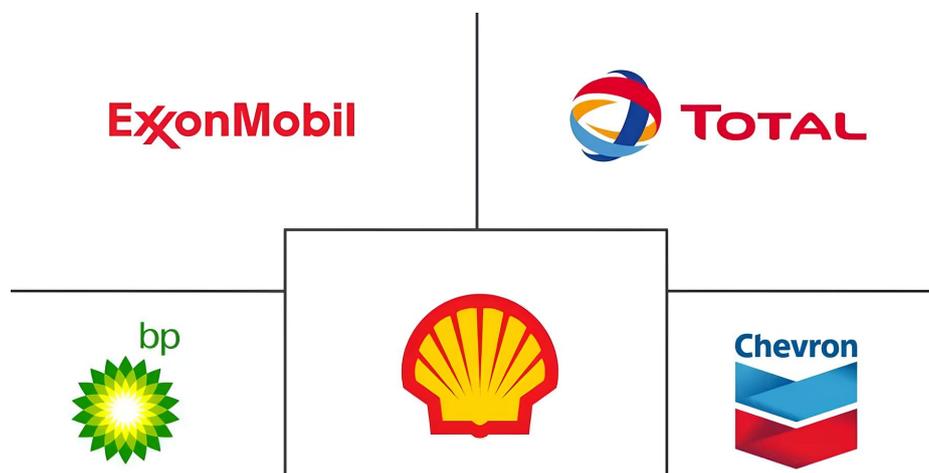


FIGURE 6 – Leaders du marché des lubrifiants (Mordor Intelligence)

## 2. Exploration de TotalEnergies à l'Échelle Nationale

En Algérie, le marché est en plein essor, avec une estimation de 180 000 tonnes en 2023. Les lubrifiants pour automobiles dominent, représentant environ 70 % du marché total, tandis que les lubrifiants industriels et autres complètent le marché avec des parts respectives de 20 % et 10 %.

Deux moteurs de croissance importants alimentent ce marché : l'augmentation du parc automobile algérien, estimé à 6 millions de véhicules, et l'industrialisation croissante du pays. Parmi les principaux acteurs du marché en Algérie, Naftal, Total et Castrol se distinguent, détenant des parts de marché respectives de 17 %, 18 % et 10 %. Avec une prévision prévoit que le marché des lubrifiants en Algérie connaîtra un TCAM de 2,1 % d'ici 2026, offrant des opportunités d'investissement prometteuses. En tant qu'acteur historique sur le marché pétrolier algérien depuis 1952, TotalEnergies opère dans la région Afrique et Moyen-Orient (AMO), couvrant une vaste zone géographique allant de la Méditerranée au Moyen-Orient. Cette présence étendue permet à TotalEnergies Algérie de participer à divers projets énergétiques dans la région, renforçant ainsi sa position en tant qu'acteur leader du secteur.

TotalEnergies Exploitation et Production Algérie constitue la filiale principale de TotalEnergies Algérie, chargée de superviser les opérations d'exploration et de production d'hydrocarbures dans le pays. Cette filiale est impliquée dans la recherche de nouvelles ressources, l'exploitation des gisements existants et la mise en œuvre de technologies innovantes pour optimiser la production et maximiser les rendements.

La division M&S Algérie est un modèle intégré qui assure la synergie entre différentes activités pour offrir une solution complète basée sur l'innovation, la complémentarité et la création de valeur. Cette division est composée de deux filiales : TotalEnergies Bitumes Algérie (TEBA) et TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA), qui offrent respectivement des produits de bitumes et de lubrifiants, que nous allons les présenter par la suite.

L'organigramme dans la figure 7 que nous avons établi démontre le positionnement de TotalEnergies Algérie par rapport au groupe Total.

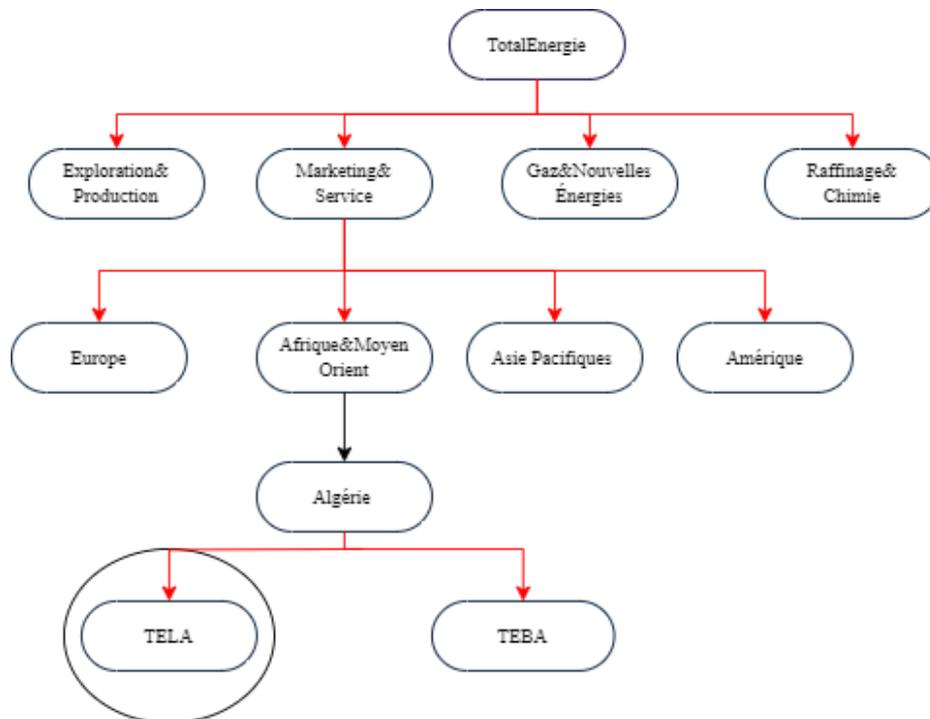


FIGURE 7 – Organigramme positionnant TELA et TBA

**TotalEnergies Bitumes Algérie (TEBA)** est une filiale spécialisée dans la production, la distribution et la transformation de bitumes en Algérie. Elle joue un rôle essentiel dans le secteur pétrolier du pays. Notons que parmi les grandes compagnies pétrolières mondiales, seul le groupe TotalEnergies est présent en Algérie, ce qui renforce son statut d'acteur historique sur ce marché. En ce qui concerne TotalEnergies Lubrifiants Algérie, nous explorerons en détail cette division dans les sections suivantes.

### 3. TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA)

C'est au sein de ce pôle que nous avons effectué notre stage de fin d'études. TotalEnergies a consolidé sa présence internationale dans le secteur des lubrifiants en Algérie à travers TotalEnergies Lubrifiants Algérie SPA, établissant ainsi sa position de leader dans les activités Aval en Afrique. Depuis son lancement en juin 2004, cette entité commercialise une vaste gamme de lubrifiants sous les marques TotalEnergies et ELF, répondant aux besoins variés des clients, qu'ils soient particuliers ou industriels.

Les lubrifiants TotalEnergies sont réputés pour leur innovation constante et leur adaptation aux avancées technologiques, notamment dans le domaine automobile. Quant aux lubrifiants ELF, ils bénéficient d'un héritage en recherche et développement, offrant une protection moteur de haute performance inspirée par les exigences des sports mécaniques. Cette combinaison de savoir-faire technique et d'engagement envers la qualité fait des produits TotalEnergies Lubrifiants Algérie un choix privilégié pour ceux cherchant fiabilité et performance au quotidien.

TotalEnergies MS Algérie, comme mentionné précédemment, est constituée de deux filiales. Ces dernières sont organisées de manière similaire, partageant les directions d'Exploitation, des Ressources Humaines, des Finances et de l'Administration. Cependant, chaque filiale possède sa propre direction commerciale.

Afin de clarifier les liens hiérarchiques, organisationnels et fonctionnels entre les différentes directions, l'organigramme de TotalEnergies Lubrifiants et Bitumes Algérie est illustré dans la figure 8.

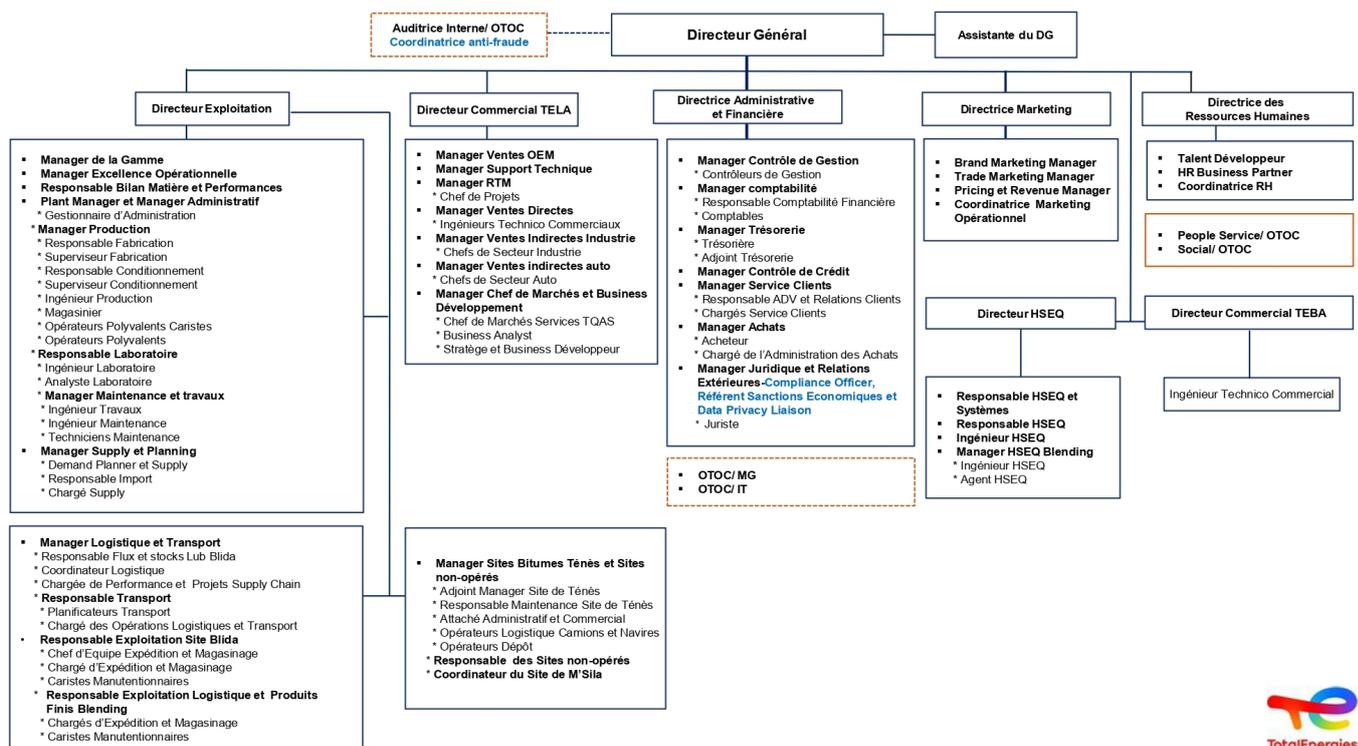


FIGURE 8 – Organigramme TELA - TEBA (Document Intern à TotalEnergies Algérie)

Pour mieux appréhender les processus au sein de TELA, nous détaillerons l'ensemble des étapes de la chaîne de valeur, de l'approvisionnement jusqu'à la livraison.

### 4. Diagnostic intern et Énoncé de la Problématique

#### 4.1. Description des Processus au sein de TELA

##### Processus d'approvisionnement

Le processus d'approvisionnement permet de répondre aux besoins du marché en temps voulu. Il se divise en deux catégories principales :

- Approvisionnement en matières premières, bidons, emballages et étiquettes : Le service Supply Chain de la direction du blending est responsable de cette catégorie. Cela implique le lancement des commandes nécessaires pour acquérir ces matières premières et leur réception. Les matières premières incluent les huiles de base (HDB) et les additifs, essentiels pour la fabrication des lubrifiants et des liquides de refroidissement. Les bidons, emballages et étiquettes sont également commandés pour assurer un conditionnement adéquat des produits finis.
- Approvisionnement en produits finis importés : Le service Supply et Logistique de la direction d'exploitation s'occupe de cette catégorie. Ce processus concerne les produits que TLA ne peut pas fabriquer localement et doit importer. Il inclut la gestion des commandes auprès des fournisseurs étrangers, le suivi des expéditions, la réception des produits et la vérification de leur conformité avec les spécifications requises.

### **Processus de Production**

La production des lubrifiants et des liquides de refroidissement se fait au niveau du Blending situé à Bethioua, Oran. Les principales missions de la direction du blending sont :

- Établir un plan de production : Le plan de production (PDP) est établi mensuellement en fonction des commandes reçues de la direction commerciale, lesquelles sont traduites en besoins internes par la direction d'exploitation. Ce plan tient compte des formules de préparation des mélanges, de la disponibilité des HDB et des additifs, ainsi que de la capacité des machines de conditionnement.
- Fabriquer des produits conformes : La fabrication doit répondre aux exigences du client final en termes de qualité et de performance. Cela nécessite un contrôle rigoureux des proportions de HDB et d'additifs utilisés pour chaque type de lubrifiant ou liquide de refroidissement.
- Assurer le conditionnement et le stockage : Après la production, les produits finis sont conditionnés en fûts ou en bidons (5L ou 20L) et stockés dans les meilleures conditions pour préserver leur qualité jusqu'à leur expédition.
- Préserver l'environnement et assurer la sécurité : La direction du blending met en œuvre des mesures pour minimiser l'impact environnemental de ses opérations et garantir la sécurité des installations et des personnes.

### **Processus de Traitement des commandes**

Les responsabilités de L'administration des ventes incluent :

- Réception des commandes : Les commandes établies par les clients sont reçues soit directement soit via une plateforme de commande propre à TELA. L'administration des ventes vérifie la disponibilité des produits et des quantités nécessaires pour satisfaire ces commandes.
- Répartition des produits : Une fois les commandes confirmées, les produits sont répartis entre les différents clients en fonction de leur disponibilité et des priorités définies.
- Préparation et saisie des factures : L'administration des ventes prépare les factures pour les commandes confirmées et les saisit dans le système ERP-SAP de TELA, assurant ainsi une gestion fluide des transactions et des livraisons.

### **Processus Logistique et Transport**

La direction d'exploitation (DEX) assure le bon fonctionnement des opérations logistiques amont et aval. Ses missions incluent :

- Transport des matières premières : Gestion du transport des HDB et des additifs depuis les fournisseurs vers les sites de production, incluant la coordination des livraisons pour assurer la ponctualité et l'intégrité des matières premières.
- Satisfaction des commandes : La DEX veille à ce que les commandes passées par la direction commerciale soient satisfaites de manière efficace et dans les délais. Cela inclut la préparation des commandes, la gestion des stocks et la planification des expéditions.

- Commandes de produits finis : La DEX lance les commandes pour les produits finis importés, qui sont des produits que TELA ne peut pas fabriquer localement. Elle gère également les commandes des produits finis locaux au blending.
- Transport des produits finis : C'est le transport des produits finis vers les dépôts de Blida et Oued Smar. Cela implique la gestion des flottes de transport, la planification des itinéraires, et la coordination avec les transporteurs pour garantir des livraisons ponctuelles et sécurisées.
- Stockage des produits finis : Cela inclut la gestion des entrepôts, le contrôle des stocks et la mise en place de pratiques respectueuses de l'environnement. Les entrepôts reçoivent environ 200 tonnes de produits chaque jour entre 16h et 20h. Les caristes commencent leurs inspections et les mouvements des entrepôts dès 15h, une heure avant la réception des marchandises du dépôt Blending, pour rechercher les emplacements vides et préparer le stockage des nouvelles arrivées.
- Système d'information et objectifs de vente : Pour ces opérations, la DEX utilise le système d'information SAP pour la gestion des flux de marchandises, le suivi des stocks et la planification des expéditions. L'équipe en charge des outils informatiques assure le bon fonctionnement du système et la formation des utilisateurs. De plus, la direction commerciale établit des objectifs annuels de vente, répartis mensuellement et par article, basés sur l'historique des ventes et ajustés selon les retours du marché et les rétroactions des clients.
- Livraison aux clients : Assurer la livraison des produits aux clients dans les délais contractuels. La DEX coordonne les expéditions, gère les relations avec les transporteurs, et veille à ce que les produits soient livrés en bon état.
- Préservation de l'environnement et sécurité : La DEX met en œuvre des mesures pour minimiser l'impact environnemental de ses opérations logistiques et pour assurer la sécurité des installations et des personnes impliquées.

Nous avons résumé les processus dans la cartographie du macro processus Supply Chain TELA qui est présentée dans la figure 9.

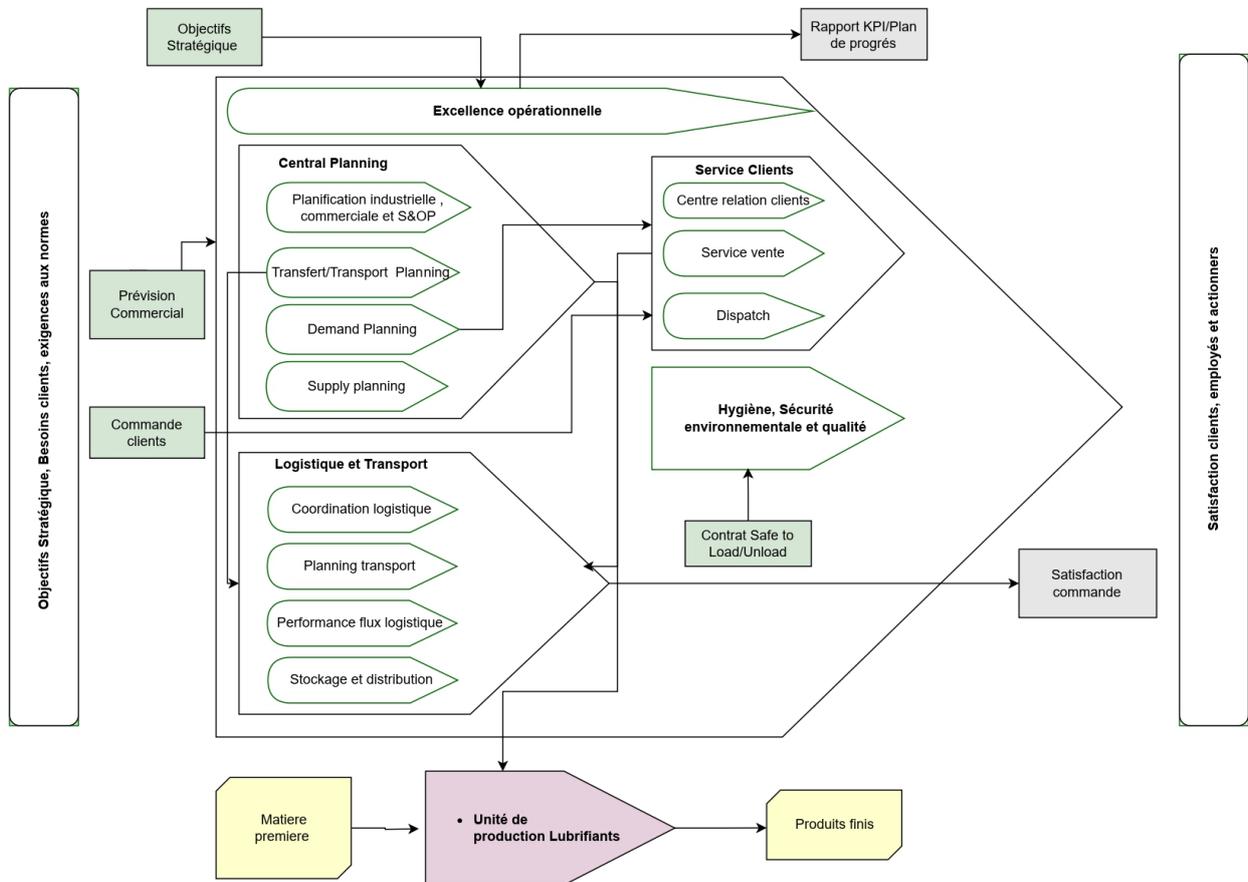


FIGURE 9 – Cartographie du Macro Processus Supply Chain TELA

## 4.2. Département Logistique et Transport

C'est au sein de ce pôle que nous avons effectué notre stage de fin d'études. Le département Logistique et Transport coordonne les flux physiques de marchandises de Total Énergies Algérie, de leur réception à leur livraison finale. Il optimise les stocks, gère les entrepôts, planifie les transports, et supervise précisément les expéditions et réceptions, assurant ainsi la fluidité et l'efficacité de la Supply Chain de TELA. Cette fonction clé contribue à la performance globale de Total Énergies et à la satisfaction client.

Pour mieux comprendre les opérations de ce département, nous avons élaboré une cartographie illustrée dans la figure 10. Cette cartographie détaille le transfert des marchandises depuis le site de Blending, toutes les étapes intermédiaires jusqu'au dépôt de Blida, et la phase finale de l'expédition des marchandises vers le client. Nous avons utilisé la norme BPMN pour modéliser en détail l'ensemble des processus et sous-processus.

La Cartographie des processus Logistique et Transport est présentée dans la figure 10

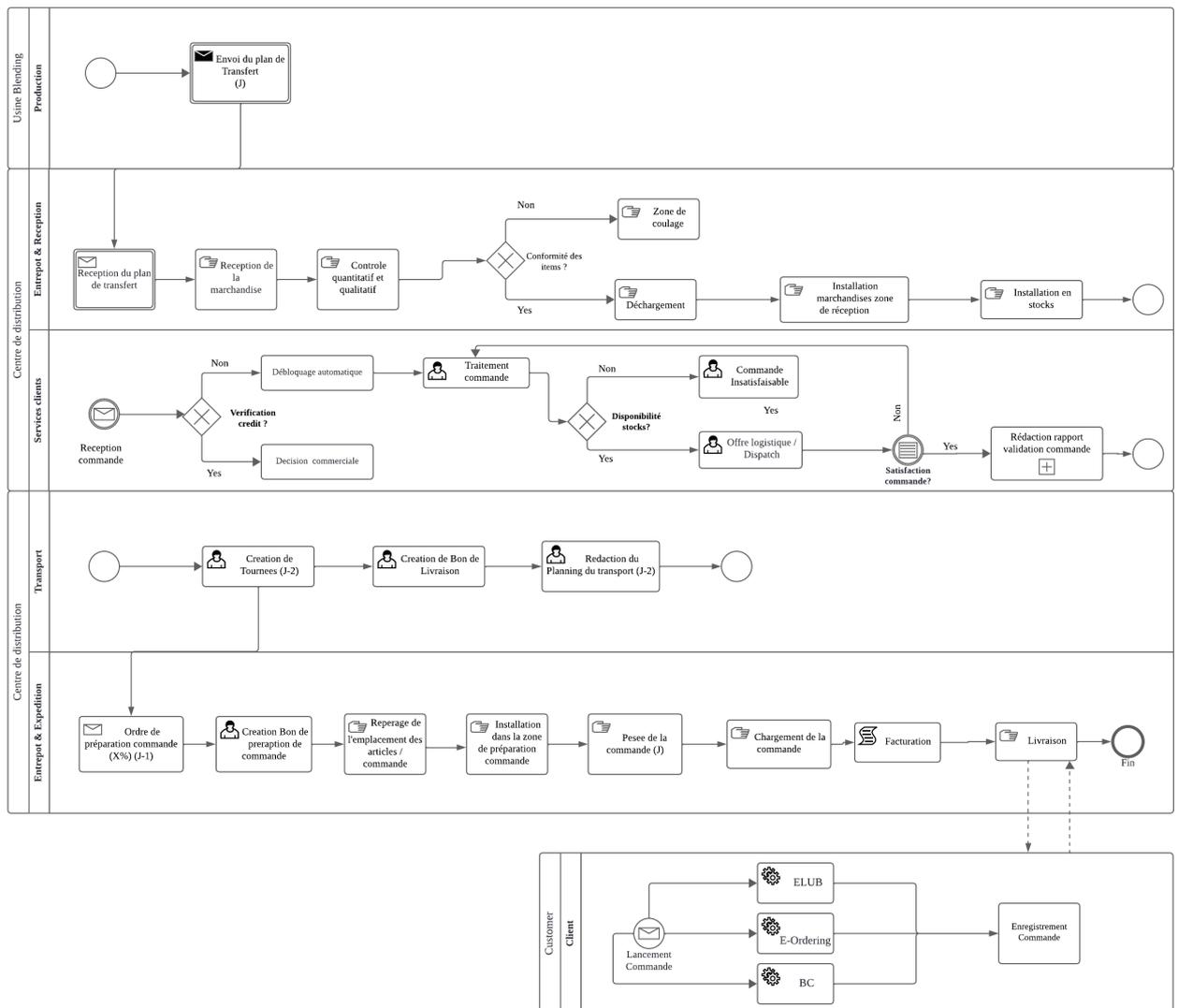


FIGURE 10 – Cartographie des processus Logistique et Transports-BPMN

### 4.3. Description de l'entrepôt Central de Distribution

Le site de Bethioua à Oran abrite une unité de production de lubrifiants et de liquides de refroidissement. Cette usine, dotée d'une capacité de production journalière de 40 000 tonnes par équipe et d'une gamme de 64 références, s'affirme comme un acteur majeur de l'industrie. L'usine dispose d'un espace de stockage de 900 palettes pour les produits finis.

Ces derniers sont ensuite acheminés vers l'entrepôt principal de Blida. Ce dernier, situé à proximité de l'autoroute Est-Ouest en Algérie, joue un rôle central dans la distribution des produits finis de TotalEnergies. Il s'étend sur une superficie de 5800 m<sup>2</sup> qui est dédiée au stockage et offre une capacité de stockage de 8 400 palettes.

La plateforme logistique permet de réceptionner 200 tonnes de produits par jour et d'en expédier 280 palettes, assurant un approvisionnement fluide et efficace des clients de l'entreprise. Cette position stratégique, à seulement 5 km de la sortie n°40, facilite le transfert des produits finis depuis l'usine d'Oran et permet de desservir environ 60% des clients de TotalEnergies concentrés entre l'est et le centre du pays. La schématisation du dépôt est illustrée dans la figure 11.



FIGURE 11 – Schématisation dépôts HADJI-SAFAR

Il est composé de deux zones de stockage distinctes et complémentaires, chacune répondant à des besoins spécifiques :

**Le Dépôt SAFAR**, est dédié au stockage en masse des produits lubrifiants, il s'étend sur une superficie, soit 4000 m<sup>2</sup> dédiés au stockage et offre une capacité de stockage de 4050 palettes. Le dépôt est subdivisé en plusieurs zones clairement délimitées selon le type de produit (cartons, fûts).

- Zone de stockage en masse Fûts : Permettant le stockage de fûts sur 4 niveaux, pour une optimisation de l'espace et une grande capacité de stockage.
- Zone de stockage en masse des cartons : Limitée à 2 niveaux pour des raisons de sécurité et de résistance du matériau.

**Le Dépôt HADJI**, est dédié au stockage en racks, il s'étend sur une superficie, soit 1800 m<sup>2</sup> dédiés au stockage et offre une capacité de stockage de 4350 palettes. Il est dédié pour les produits finis en cartons et bidons, qui ne supportent pas le poids de plusieurs palettes.

Cette partie nous a permis de comprendre en détail les processus de la chaîne d'approvisionnement ainsi que ceux opérant au sein de l'entrepôt. Pour approfondir l'analyse des opérations de l'entrepôt et évaluer ses performances, la section suivante se concentrera sur le diagnostic des pratiques logistiques en place.

#### 4.4. Évaluation du Temps à l'Intérieur de l'Entrepôt

Après avoir évalué les différents processus au sein de l'entrepôt, notre première observation a porté sur l'analyse du temps dédié à chaque processus, notamment la préparation des commandes, la mise en stock, le chargement (expédition) et enfin la réception.

Dans le cadre de cette évaluation, nous avons entrepris une démarche concrète en effectuant une visite sur le terrain (Gemba walk) au dépôt. Durant cette visite, nous avons minutieusement chronométré chaque étape des opérations sur une période d'une semaine afin d'évaluer le temps consacré à chaque processus par rapport au temps total de travail.

Les résultats de cette analyse ont révélé que plus de la moitié de la main-d'œuvre était dédiée à la préparation des commandes. La répartition des tâches en fonction du temps passé est illustrée dans la figure 12.

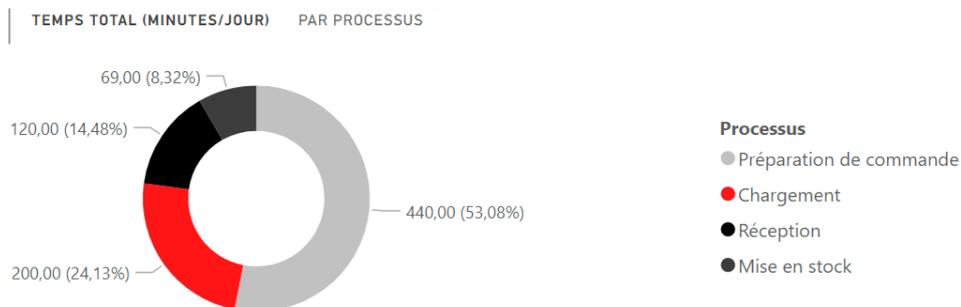


FIGURE 12 – Répartition des fonctions selon la durée passée dans l'entrepôt (1 semaine d'observation)

Et que, pendant cette phase de préparation, la moitié du temps concernait les déplacements et les recherches des emplacements des produits :

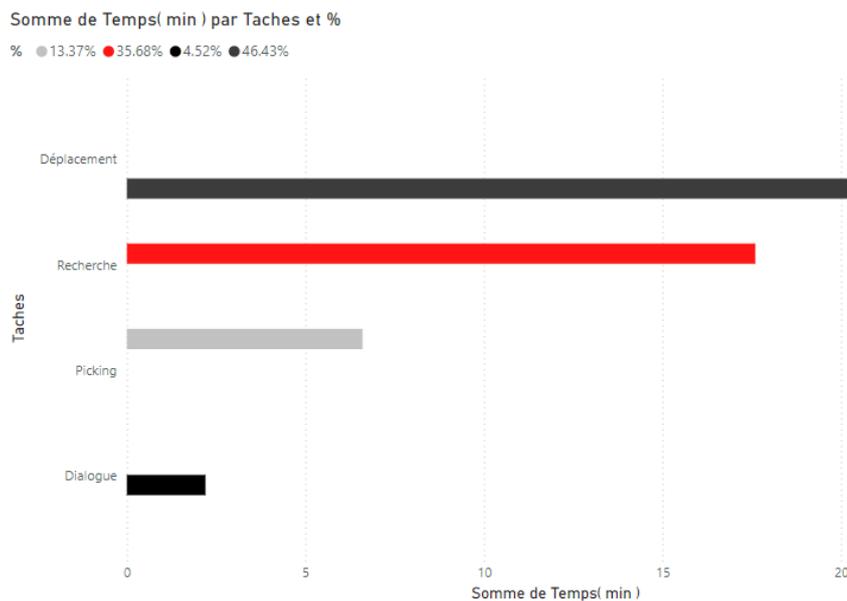


FIGURE 13 – Répartition des tâches en fonction du temps passé en préparation de commandes

L'examen des processus a souligné que la phase la plus consommatrice de temps parmi les différentes étapes est la préparation des commandes. Plus spécifiquement, les opérations de déplacement et de localisation des marchandises au sein de l'entrepôt sont les plus chronophages.

Afin de mieux appréhender les facteurs impactant cette durée, nous avons procédé à un audit logistique approfondi. Les conclusions de cette évaluation seront détaillées dans les sections suivantes.

## 4.5. Audit des pratiques Logistiques

Afin d'évaluer la performance et l'efficacité des processus au sein de l'entrepôt de l'entreprise, ainsi que d'identifier d'éventuelles sources de dysfonctionnement, nous avons mené un « Audit Logistique ». Cet audit s'est basé sur le référentiel intern **DALOGUE WAY** de l'entreprise **DANONE**, que nous avons adapté au contexte spécifique du centre de distribution de TotalEnergies Lubrifiants Algérie.

Le référentiel DALOGUEWAY (Danone logistique way), conçu spécifiquement pour le secteur agroalimentaire, a été ajusté pour répondre aux besoins de l'entrepôt central de distribution de TELA. Notre première étape a été de comprendre les spécificités du secteur des lubrifiants, notamment en termes d'exigences de stockage, de manipulation et de distribution. Nous avons ensuite comparé les processus des deux secteurs pour identifier les similitudes.

Ensuite, nous avons sélectionné les chapitres du référentiel qui étaient alignés avec la stratégie de TELA, en choisissant des KPI pertinents spécifiquement adaptés à l'entreprise, tout en intégrant les normes strictes de qualité et de sécurité propres à l'entrepôt. Ce processus d'adaptation a été réalisé en collaboration étroite avec les parties prenantes clés, incluant le Manager en Supply Chain ainsi que le responsable logistique et transport, afin de garantir une adaptation efficace et pertinente de DALOGUEWAY.

**L'objectif à travers cet audit est exposé dans les points suivants :**

- Identifier et prioriser les processus logistiques les moins performants et efficace
- Établir un benchmark de la performance logistique de l'entreprise par rapport aux meilleures pratiques
- Élaborer une matrice de convergence pour les dysfonctionnements identifiés dans les processus audités et les moins performants.
- Proposer des actions concrètes pour remédier aux dysfonctionnements et proposer des voies d'amélioration en se basant sur les meilleures pratiques.
- Créer une matrice Effort-Impact pour évaluer les différentes actions d'amélioration.

### Grille d'Evaluation

Le référentiel repose sur une grille d'évaluation qui permet de mesurer le niveau de maîtrise pour chaque question. Cette grille définit plusieurs niveaux de compétence, allant de "Débutant" à "Expert", en passant par "Junior", "Senior" et "Avancé". (Le système de notation est en Annexe J)

### Déroulement de l'Audit

En guise d'introduction, nous avons identifié la partie aval de la Supply Chain à savoir la Logistique Intern de Total Énergie Lubrifiant Algérie (**TELA**) comme champ d'action prioritaire pour cet audit. Ainsi, pour structurer notre raisonnement, nous avons décortiqué notre audit sur 03 étapes majeures illustrée dans la figure 14. (Les étapes de l'audit sont en détail en Annexe F)



FIGURE 14 – Démarche Audit Logistique

## Choix des chapitres

En effet, les opérations liées au stockage, à la distribution, au transport et à la logistique aval constituent le noyau central de l'activité de l'entreprise.

En conséquence, le choix des chapitres à soumettre à audit sera principalement orienté par cette considération prépondérante. Dans ce cadre, les processus suivants seront examinés de près : le triptyque "Qualité-Coût-Livraison". En regroupant ces trois dimensions, l'audit sera conçu pour offrir une vision globale de l'efficacité opérationnelle de l'entrepôt.



FIGURE 15 – Triptyque Qualité-Coût-Livraison

## Grille d'évaluation de la performance des indicateurs

Pour évaluer la performance de l'entrepôt, nous avons utilisé les (KPI) relatifs au triptyque coût, qualité et livraison, ce qui est une méthode claire et évidente pour mesurer le niveau de d'effecience du dépôt . Pour chaque processus, nous avons déterminé le nombre de questions en fonction du nombre de **KPI (en suivant le référentiel)**, puis nous les avons comparées aux objectifs fixés.

Les résultats sont illustrés dans le tableau 1.

TABLE 1.1 – Grille d'évaluation indicateurs

Indicateurs de performance	Calculé ?	Niveau de performance	Cible	Pourcentage
Tracabilité	No	0	22,5	0%
Taux de non conformité	Yes	1,39	22,5	6,18%
Taux de réclamation liés à la logistique	Yes	2,1	22,5	9,33%
Nombre d'objets visibles au sol par 1000 m <sup>2</sup>	Yes	2,78	22,5	12,36%
Taux de Respect FEFO	Yes	2,78	22,5	12,36%
Taux de zoning	No	0	22,5	0%
Taux de service	Yes	0,69	11,2	6,16%
On time delivery	Yes	1,39	11,2	12,41%
Taux de remplissage camion	Yes	2,1	11,2	18,75%
On time Loading	Yes	1,39	11,2	12,41%
Stock rotation	Yes	2,3	15,7	14,65%
Total productivity rate	No	0	15,7	0%
Ecart Inventaire	Yes	1,56	15,7	9,94%
Taux de saturation	Yes	2,3	15,7	14,65%

A l'issue de notre audit, les résultats de la grille d'évaluation, nous a montré que les indicateurs de performance clés (KPI) tels que la traçabilité, le taux de zonage ainsi que le taux de productivité présentent un niveau débutant, ce qui impacte directement le temps de préparation des commandes.

Cette situation est défavorable pour atteindre l'efficacité nécessaire dans la gestion d'un entrepôt. Par conséquent, nous allons nous concentrer sur ces KPI afin d'identifier les dysfonctionnements qui les affectent et de déterminer les actions correctives à recommander.

**Les dysfonctionnements constatés à l'issue de notre audit sont présentés dans le tableau 1.2 :**

TABLE 1.2 – Listes des dysfonctionnements / Actions

Dysfonctionnements	Recommandations des actions
Le stockage est aléatoire et aucune règle de zoning ou de classification des produits n'est prédéfinie.	Implémentation d'un système d'adressage et de réservation dans l'entrepôt selon une classification des items
Absence d'un système dédié à la gestion d'entrepôt (WMS)	l'implémentation des puces RFID dans le système / Configuration d'un WMS
Les trajets des caristes ne sont pas étudiés pour minimiser les distances parcourues	Re-design des circuits de prélèvement 1 fois/an
Absence de suivi de la performance, notamment sur des indicateurs internes comme la productivité	Management Visuel, et suivi du KPI de la productivité et des erreurs par équipe/personne et par quart de travail
Non respect de planning d'arrivée par les camions	Emploi du temps visuel pour le départ - Règles de chargement et horaire de départ et d'arrivées affichés près des quais
Désorganisation et mauvais rangement des articles	Déployer le 5S sur site
Étiquetage par le numéro de matériel seulement	Étiquetage par le nom / Code barre
Pas de visibilité sur les opérations	Implémenter l'outil Kanban
L'utilisation des méthodes naïves de prévision qui sont non cohérentes avec le marché des lubrifiants	Choix d'une méthodologie de prévision fiable
Manque de coopération entre la direction du blending et logistique ( Non prise en considération la capacité de l'entrepôt lors du transfert des articles )	L'utilisation d'un modèle de programmation mathématique pour la détermination de la bonne quantité à transférer

## Matrice Efforts/ Impacts

À la suite de ces dysfonctionnements et des actions proposées, il est clair que nous devons concentrer notre étude sur les principaux dysfonctionnements. Ainsi, pour choisir la piste sur laquelle travailler et influencer positivement et indirectement tous les autres dysfonctionnements, nous avons élaboré une matrice efforts-impact pour sélectionner les solutions pertinentes. La matrice est présentée dans la figure 16.

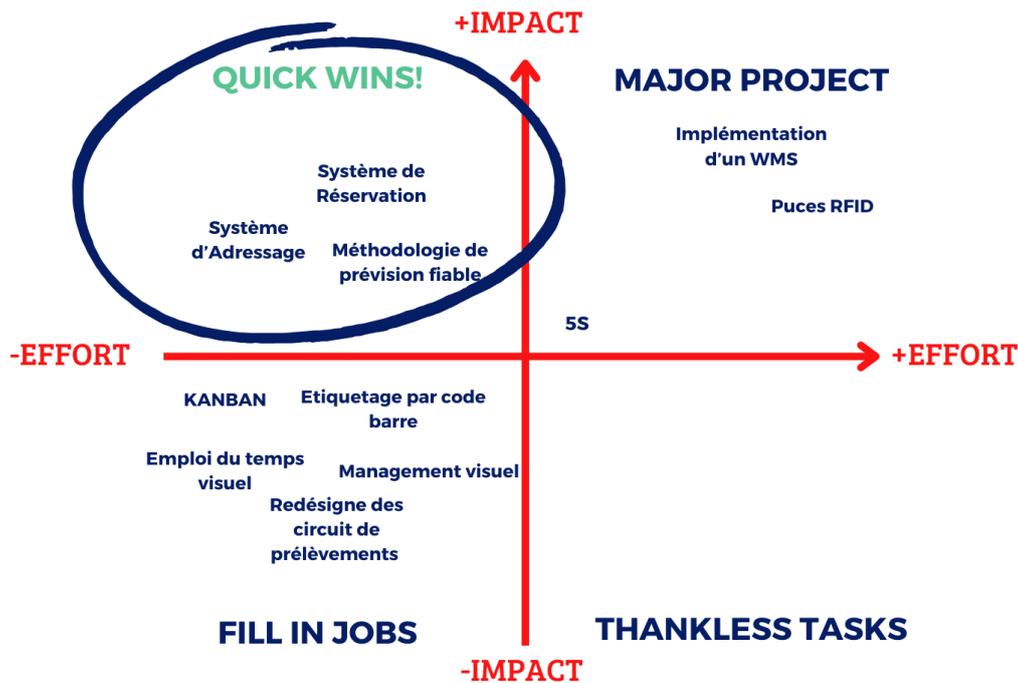


FIGURE 16 – Matrice Effort/Impact

L'audit logistique effectué dans l'entrepôt révèle des dysfonctionnements majeurs en termes d'organisation et de moyens informatiques. Ces lacunes empêchent TELA d'atteindre ses objectifs stratégiques d'optimisation et ne répondent pas aux besoins des équipes. Cette inadéquation se traduit par une diminution des performances des opérations d'entreposage, notamment en ce qui concerne les délais de préparation des commandes et la satisfaction des clients.

Selon la matrice d'analyse, nous allons concentrer notre solution sur les gains rapides. Donc il est impératif de mettre en œuvre une approche cohérente et efficace pour améliorer significativement ces performances.

#### 4.6. Enoncé de la problématique

Évoluant sur un marché en constante croissance et face à une concurrence accrue, TELA place la gestion performante de ses opérations logistique au cœur de ses activités. Guidée par une stratégie d'optimisation et d'efficacité opérationnelle, l'entreprise vise à atteindre une efficacité optimale dans son entrepôt. Pour y parvenir, Une organisation rigoureuse avec une bonne gestion des stocks et une traçabilité parfaite des flux de marchandises sont essentielles.

Suite aux sources de non performances issues de notre audit logistique DALGUEWAY, notre orientation s'est tournée vers le traitement du dysfonctionnement qui affectent la performance de ses processus notamment celui de preparation de commmande qui sont relatifs à la traçabilité et au zonage au sein de l'entrepôt central à Blida. La problématique recherchée qui oriente notre réflexion dans ce mémoire est la suivante :

*Comment améliorer l'efficacité des opérations au sein de l'entrepôt de TELA ?*

Pour arriver à répondre à cette question, nous allons la fragmenter en deux sous questions :

- Quel est le moyen fiable pour prévoir la demande ?
- Quel est la bonne quantité des articles à stocker tout en minimisant les coûts logistiques ?
- Comment pouvons-nous avoir une visibilité automatique sur les emplacements des articles ?

## Conclusion

À la fin de ce chapitre, nous avons acquis une bonne connaissance de l'entreprise TotalEnergies, en mettant l'accent sur TotalEnergies Lubrifiants Algérie et ses principales activités. Nous avons ensuite réalisé un diagnostic approfondi en utilisant le référentiel interne DALOGUEWAY et l'outil BPMN afin de mieux comprendre le fonctionnement des activités logistiques.

Ensuite, nous avons évalué les différents processus, Cette évaluation nous a permis de mesurer le niveau de performance de TELA et de détecter les éventuels dysfonctionnements existants. Enfin, nous avons exposé la problématique qui synthétise l'ensemble des dysfonctionnements identifiés. Dans le chapitre suivant, nous présenterons une revue de littérature afin de mieux cerner les différents concepts et méthodes relatifs à la résolution de notre problématique.

## CHAPITRE 2 : Fondements Théoriques

*“Appréhender un nouveau savoir, c’est l’intégrer à une structure de pensée existante.”*

*Marcel Proust*

# Chapitre 2

## État de l'art

Ce chapitre est consacré à l'élaboration des divers concepts essentiels pour approfondir notre compréhension de la problématique en question. Nous y présenterons également les différents outils que nous utiliserons pour mettre en œuvre la solution envisagée. L'objectif est de remédier aux divers dysfonctionnements identifiés lors de notre diagnostic, tel que détaillé dans le chapitre 1.

La structure à suivre dans ce chapitre est synthétisée dans la figure 1.

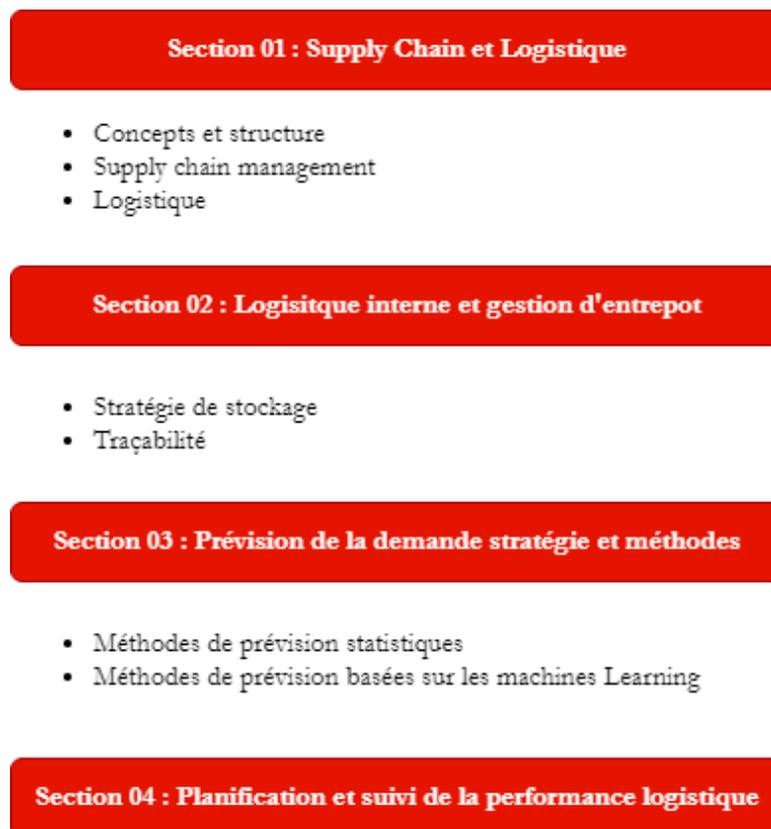


FIGURE 1 – Schéma récapitulatif de la démarche et structure du chapitre 2

### 1. Supply Chain et Logistique

#### 1.1. Supply Chain, Concepts et Structure

Dans cette section, nous présenterons brièvement un ensemble d'éléments constitutifs, de définitions et de notions de la chaîne logistique, également appelée Supply Chain, en mettant un accent particulier sur la logistique, que

nous aborderons tout au long du rapport.

*” Une chaîne d’approvisionnement est définie comme un ensemble de trois entités ou plus (organisations ou individus) directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et informations, reliant une source à un client.” Mentzer J.T et al. (2001)*

*” Un réseau d’organisations qui sont impliquées, à travers des liens en amont et en aval, dans les différents processus et activités qui produisent de la valeur sous la forme de produits et services livrés au consommateur final.” Christopher M.(1998)*

*” La chaîne d’approvisionnement est un réseau dynamique et séquentiel d’entreprises autonomes, allant du premier fournisseur au client final.” Zouaghi.(2013)*

Ainsi, la chaîne logistique est un ensemble de flux physiques, informationnels et financiers circulant entre plusieurs acteurs, où chacun est à la fois fournisseur pour l’étape suivante et client de l’acteur de l’étape précédente.

La structure d’une chaîne logistique dépend donc évidemment de sa nature et des objectifs visés. Une Supply Chain comprend deux axes dans sa structure. L’axe horizontal fait référence au nombre d’échelons (tiers) qui interviennent au long de la chaîne. La dimension verticale fait référence au nombre d’entreprises par échelon.

En outre ces entreprises sont différenciées en deux catégories selon leur importance. Les entreprises focales sont celles qui créent la plus de valeur à la Supply Chain, alors que les entreprises de soutien fournissent les ressources et le savoir aux entreprises focales. Les processus entre les entreprises de soutien et les entreprises focales sont gérés par quatre types de liens (LAMBERT & COOPER, 2000) :

- **Liens des processus gérés** : liens relatifs aux processus que l’entreprise focale juge important d’intégrer et gérer.
- **Liens des processus contrôlés** : pas aussi importants que les précédents, mais l’entreprise doit s’assurer qu’ils soient intégrés et gérés d’une manière appropriée.
- **Liens des processus non-gérés** : processus peu importants sur lesquels l’entreprise n’est pas directement impliquée ou fait confiance à ceux qui les gèrent.
- **Liens des processus des non-membres** : processus externe à la supply chain de l’entreprise, même si celle-ci est consciente de leur impact indirect.

Pour caractériser la structure physique d’une Supply Chain, nous ferons appel dans la figure ci-dessous au modèle de Lambert et Cooper (2000) qui propose une structuration tridimensionnelle d’un réseau logistique ainsi que les différents liens :

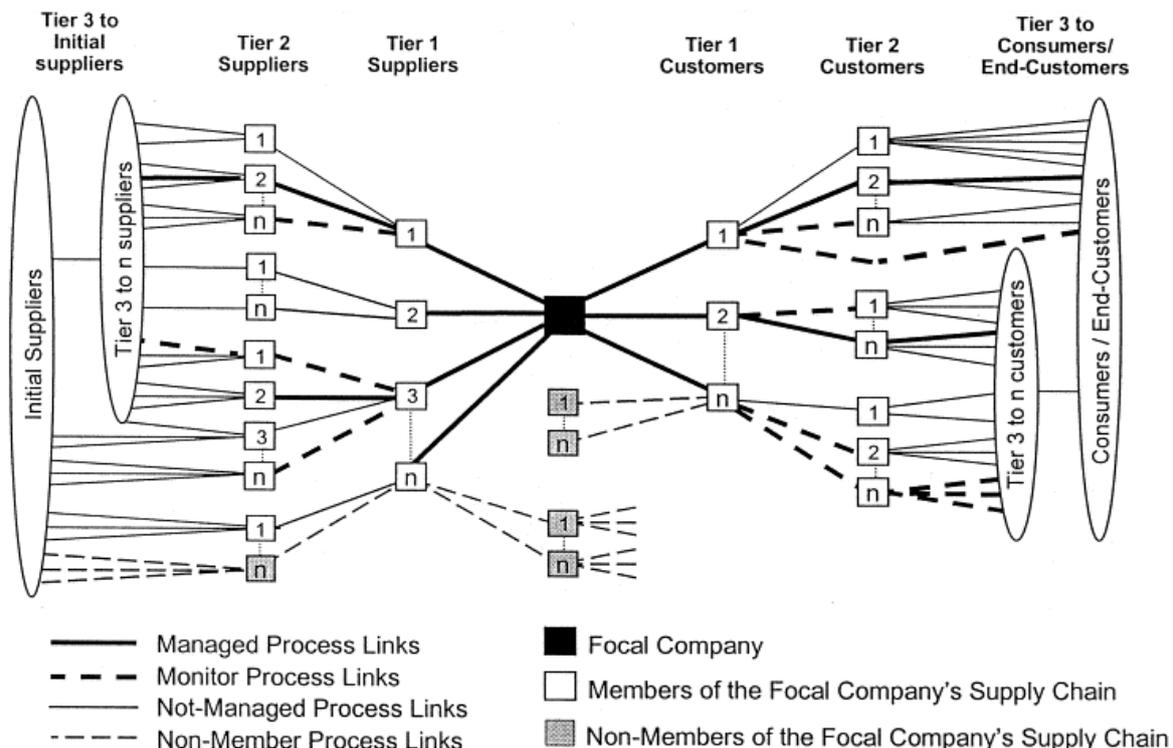


FIGURE 2 – Structure de la Chaîne logistique (Lambert et Cooper 2000)

Les flux de la chaîne logistique désignent les mouvements de produits, d'informations, et de finances tout au long du processus de fabrication et de distribution d'un produit ou d'un service. Il existe trois flux principaux le long d'une chaîne logistique :

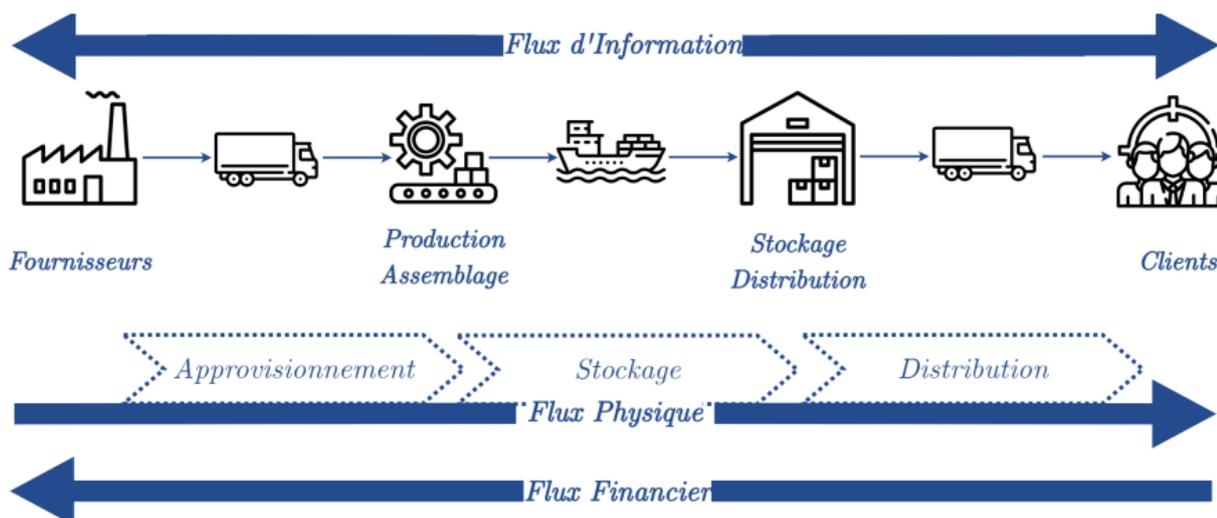


FIGURE 3 – Les flux de la chaîne logistique

**Le flux physique** constitue le fondement opérationnel de la chaîne logistique, s'étudiant de manière approfondie pour optimiser ses processus. Il englobe le mouvement tangible des matières premières, des produits semi-finis ou finis entre les différents acteurs de la chaîne. Ses principaux volets sont :

- **Approvisionnement** : Cette étape stratégique établit des partenariats avec les fournisseurs pour répondre aux commandes de biens ou de services, assurant la disponibilité des produits tout en minimisant les stocks. Les décisions reposent sur des critères comme les délais de livraison et les coûts. Les éléments clés incluent le stock actuel, les réserves de sécurité, les prévisions de demande, les quantités minimales de commande et les tailles de lot. Les indicateurs de performance évaluent l'équilibre entre les stocks disponibles et la satisfaction des besoins clients.
- **Transformation** : Cette phase concerne la conversion des matières premières ou des produits semi-finis en produits finis, à travers divers processus de fabrication ou d'assemblage.
- **Distribution** : Elle englobe les différentes activités liées au transport, au stockage, à la distribution et à l'entreposage des produits ou services dans le réseau logistique de l'entreprise. La performance de cette étape joue un rôle crucial dans la satisfaction client. Des indicateurs tels que le "fill rate", mesurant le pourcentage de demandes clients satisfaites à partir des stocks locaux, sont utilisés pour évaluer cette performance.

Cependant, pour que la chaîne logistique fonctionne de manière optimale, il ne suffit pas de se concentrer uniquement sur le flux physique. Il est également essentiel de prendre en compte le flux d'informations.

**Le flux d'informations** représente le système nerveux de la chaîne logistique, assurant la circulation des données essentielles entre les différentes entités, du fournisseur au client et inversement. Ces informations sont cruciales pour la communication, la coordination des activités, la planification et la prise de décision. Des outils tels que la prévision de la demande et la visualisation des performances sont utilisés pour guider les actions dans ce flux.

**Les flux financiers** est l'élément financier vital qui assure la cohésion et la viabilité économique de la chaîne logistique. Il circule en parallèle du flux physique, représentant la valeur totale des transactions commerciales sur une période donnée. Sans ce flux, la collaboration entre les partenaires de la chaîne logistique serait compromise, mettant en péril la continuité des opérations.

Les chaînes logistiques existent depuis toujours, mais l'innovation réside dans une vision globale cherchant à optimiser l'ensemble plutôt que des parties isolées. Le concept de chaîne logistique souligne l'intégration des opérations internes, des fournisseurs et des clients dans un flux plus large, créant ainsi de nouveaux besoins en intégration et coordination des flux de matières, d'informations et financiers, menant au développement du Supply Chain Management.

## 1.2. Supply Chain Management

Le Supply Chain Management (SCM) peut être défini comme :

*” La coordination systémique et stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives, à la fois au sein d’une même entreprise et entre des partenaires au sein de la chaîne logistique .”*  
(Mentzer et al, 2001).

Supply Chain Management (SCM), ou gestion de la chaîne d’approvisionnement, est un terme qui a émergé pour la première fois dans la littérature logistique en 1982, grâce aux travaux d’Oliver et Weber. Ils l’ont présenté comme une approche de gestion des stocks mettant l’accent sur l’approvisionnement en matières premières.

Dans les années 1990, des universitaires comme Cooper et Elram ont décrit le SCM d’un point de vue théorique, soulignant en quoi il se distinguait des approches traditionnelles de la gestion des flux de matières et d’informations associées. Ils ont mis en lumière l’importance d’une collaboration accrue entre les différents acteurs de la chaîne d’approvisionnement, du producteur primaire au consommateur final, pour mieux répondre à la demande des consommateurs tout en réduisant les coûts (Bechtel Jayaram, 1997).

Une des idées centrales du SCM est que chaque organisation d’une chaîne d’approvisionnement ne doit pas chercher à optimiser ses propres résultats de manière isolée. Au contraire, il est essentiel d’intégrer ses objectifs et ses activités avec celles des autres organisations de la chaîne pour optimiser les résultats globaux (Cooper, Lambert & Pagh, 1997).

Le SCM peut être défini comme la planification, la coordination et le contrôle intégrés de tous les processus commerciaux et des activités de la chaîne d’approvisionnement afin de fournir une valeur supérieure au consommateur à moindre coût, tout en satisfaisant les exigences des autres parties prenantes.



FIGURE 4 – Supply Chain Management (Irons Systems)

## 1.3. Logistique

La logistique peut être définie comme la gestion stratégique des flux de biens, services et informations, depuis leur point d’origine jusqu’au point de consommation, avec pour objectif d’optimiser les opérations tout en répondant efficacement aux besoins des clients.

Les coûts logistiques représentent une part importante des dépenses totales des entreprises. Selon l’Observatoire Celio-Avenir-Logistique (2022), ils représentent en moyenne 12% du chiffre d’affaires des entreprises en France. Optimiser ces coûts permet d’améliorer la rentabilité et de dégager des marges supplémentaires.

Pour réduire les coûts logistiques, plusieurs leviers peuvent être utilisés. Gérer efficacement les niveaux de stocks permet de minimiser les coûts de stockage et de réduire les risques de ruptures de stock (Chopra & Sodhi, 2004). Choisir le mode de transport le plus adapté en fonction des besoins et des contraintes aide à optimiser les coûts de transport (Ballou, 2015). Négocier des prix compétitifs avec les fournisseurs peut également réduire les coûts d’approvisionnement (Lamming, 2012).

De plus, optimiser l’organisation des entrepôts et les processus de manutention améliore la performance des entrepôts et réduit les coûts opérationnels (Francis & Blumenfeld, 2019).

- **Optimisation des Stocks** : Gérer efficacement les niveaux de stocks pour minimiser les coûts de stockage

et réduire les risques de ruptures de stock

- **Rationalisation du Transport** : Choisir le mode de transport le plus adapté en fonction des besoins et des contraintes pour optimiser les coûts de transport.
- **Négociation avec les Fournisseurs** : Négocier des prix compétitifs avec les fournisseurs pour réduire les coûts d'approvisionnement).
- **Amélioration de la Performance des Entrepôts** : Optimiser l'organisation des entrepôts et les processus de manutention pour réduire les coûts opérationnels.

Une composante essentielle de cette discipline est la logistique interne, qui joue un rôle crucial dans l'efficacité globale de la chaîne d'approvisionnement.

## 2. Logistique interne, et Gestion des entrepôts

La logistique interne, ou intralogistique, concerne la gestion et l'optimisation des flux de matériaux et d'informations au sein d'une organisation. Elle englobe la réception des matières premières, le stockage, la gestion des stocks, la préparation des commandes et le transfert des produits finis vers les points de sortie. Son objectif principal est d'assurer la disponibilité des ressources au bon moment et au bon endroit, tout en minimisant les coûts et en maximisant l'efficacité opérationnelle.

Dans ce contexte, un entrepôt joue un rôle très important. C'est une installation qui, à l'aide d'équipements de stockage, d'engins de manutention, de ressources humaines et de moyens de gestion, contrôle les écarts entre les flux d'entrée de marchandises (provenant des fournisseurs, des sites de fabrication, etc.) et de sortie (marchandise destinée à la production, à la vente, etc.). Ces flux ne sont généralement pas coordonnés, ce qui implique la mise en place d'une logistique de stockage optimale.

En effet, un entrepôt central bien conçu doit être capable de remplir plusieurs fonctions dès l'arrivée de chargement à l'expédition des commandes (voir figure 5 et 6).

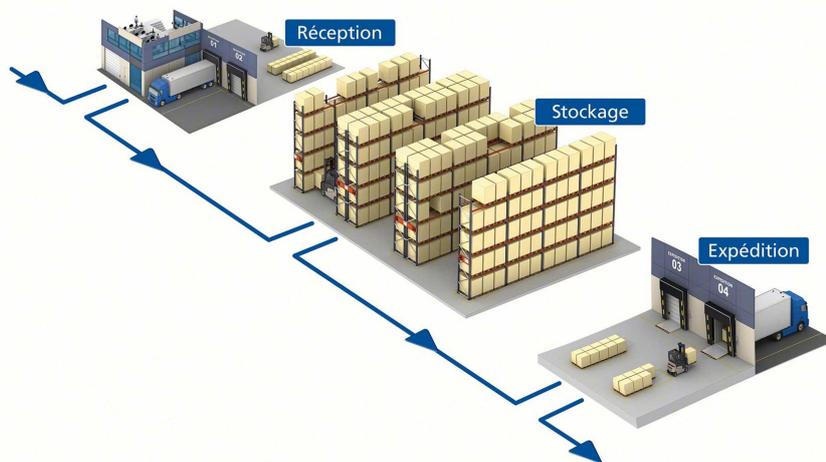


FIGURE 5 – Entrepôt Centrale (Mecalux)

- La bonne réception de tous les produits ; compris dans l'activité industrielle de l'entreprise propriétaire de l'entrepôt.
- La vérification de qualité de marchandise arrivée.
- L'identification de produit stocké.
- Le stockage approprié des marchandises.
- La préparation des commandes destinées aux entrepôts régionaux et aux clients
- L'expédition rapide des commandes

Les entrepôts, en tant que maillons essentiels de la chaîne logistique, orchestrent une multitude de processus visant à assurer la réception, le stockage, la préparation, l'emballage, l'expédition et la gestion des retours des

merchandises. Chaque processus, de par sa spécificité et son importance, contribue à l'optimisation globale de la performance logistique et à la réduction des coûts au sein de l'entrepôt. Ce rapport se penche sur ces différents processus, explorant leurs objectifs, leurs étapes clés et les meilleures pratiques qui les sous-tendent.

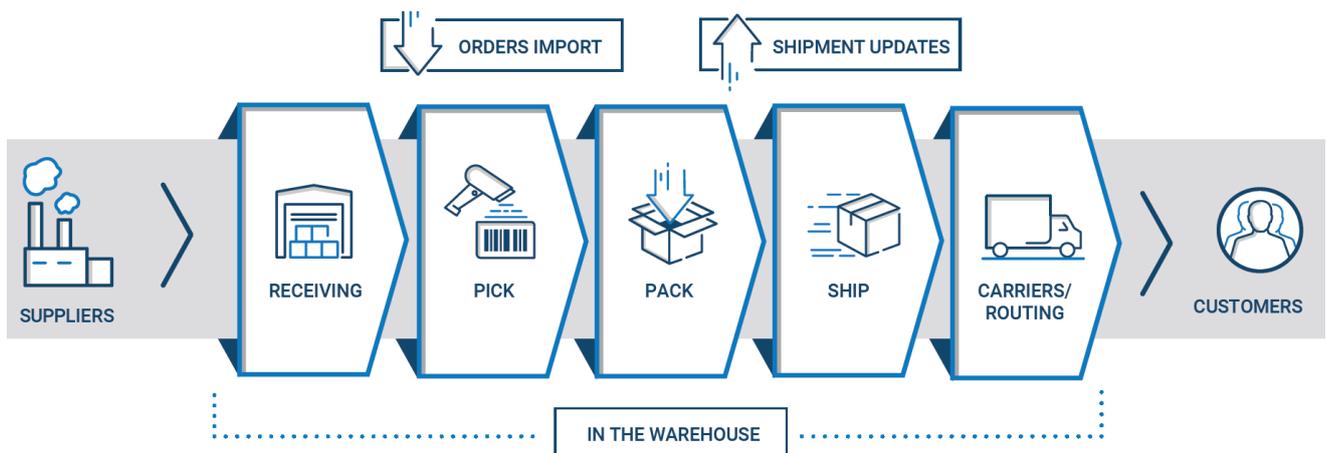


FIGURE 6 – Schéma des processus au sein de l'entrepôt

- **Réception marchandises** , L'objectif principal est de garantir que les produits reçus correspondent aux commandes passées et qu'ils sont en bon état. Cela implique une vérification minutieuse des documents tels que les bons de livraison et les commandes, suivie d'une inspection qualité pour détecter d'éventuels dommages ou écarts. Une fois cette inspection effectuée, les entrées sont enregistrées dans le système de gestion d'entrepôt (WMS). Pour accélérer et fiabiliser ce processus, l'utilisation de scanners de codes-barres est recommandée, de même que la mise en place de zones spécifiques dédiées à la réception et à l'inspection des marchandises (Waters, 2021).
- **Stockage des produits** , C'est une étape cruciale visant à maximiser l'utilisation de l'espace tout en garantissant l'accessibilité des produits. Après réception, les marchandises sont allouées à des emplacements optimisés à l'aide du WMS, puis placées dans les rayonnages ou zones de stockage désignées. Pour optimiser cet espace, l'adoption de systèmes de rayonnage à haute densité est conseillée. De plus, l'application des principes de gestion FIFO (First In, First Out) ou LIFO (Last In, First Out) peut être utilisée selon les besoins spécifiques de l'entrepôt.(Chopra & Sodhi, 2004).
- **Préparation des commandes** , C'est un processus essentiel visant à rassembler les produits nécessaires pour compléter les commandes clients de manière précise et efficace. Cela commence par la génération d'une liste de prélèvement indiquant les produits à récupérer. Les produits sont ensuite prélevés de leurs emplacements de stockage et regroupés pour chaque commande. Pour améliorer la précision et la vitesse de ce processus, l'utilisation de technologies de prélèvement par voix ou par lumière est souvent mise en œuvre. Une organisation optimale des zones de prélèvement permet également de minimiser les déplacements et d'accélérer le processus (Ballou, 2015).

Une fois les produits prélevés, ils doivent être correctement emballés pour protéger les marchandises et préparer les commandes pour l'expédition. Le choix des matériaux d'emballage appropriés, comme les cartons et les protections, est crucial pour assurer la sécurité des produits. Les produits sont ensuite conditionnés conformément aux spécifications des clients et étiquetés avec les informations d'expédition et les codes-barres nécessaires. La standardisation des processus d'emballage assure une cohérence et une efficacité accrues, et l'utilisation de machines d'emballage automatisées peut être bénéfique pour les commandes volumineuses (Lamming, 2012).

- **Expédition des commandes** , C'est l'étape finale, où l'objectif est de garantir que les commandes sont envoyées de manière précise et en temps voulu. La planification des expéditions est organisée en fonction des délais de livraison et des destinations, suivie du chargement des colis dans les véhicules de transport. La préparation des documents d'expédition nécessaires est également une partie cruciale de ce processus. Pour optimiser les itinéraires et les coûts, l'utilisation de systèmes de gestion du transport (TMS) est recommandée, ainsi que la mise en place de processus de vérification finale pour éviter les erreurs avant l'expédition (Waters, 2021).
- **Gestion des retours**, C'est un processus important pour traiter les produits retournés de manière efficace, afin de réduire les coûts et de récupérer la valeur des marchandises. Cela commence par la réception des

retours, où les documents sont vérifiés et les produits inspectés. Les retours sont ensuite triés selon leur état, qu'il s'agisse de produits revendables, réparables ou recyclables. Les produits revendables sont réintégrés dans l'inventaire après mise à jour du stock. Pour faciliter la gestion et la traçabilité des retours, la mise en place d'un processus structuré et l'utilisation de systèmes automatisés sont fortement recommandées (Chopra & Sodhi, 2004).

## 2.1. Stratégie de stockage

Les stratégies de stockage dans un entrepôt sont cruciales pour optimiser l'espace et l'efficacité opérationnelle. L'organisation judicieuse des produits selon leur taille, leur fréquence de rotation et leur demande est essentielle pour minimiser les déplacements et maximiser l'utilisation de l'espace disponible. En intégrant ces stratégies, les entrepôts peuvent accroître leur efficacité tout en répondant de manière agile aux fluctuations de la demande et aux exigences des clients.

### A. Stockage aléatoire

Consiste à placer les produits dans des emplacements de stockage disponibles sans suivre un ordre préétabli. Cette stratégie offre une grande flexibilité et une utilisation optimale de l'espace, car les produits sont rangés en fonction de leur taille, de leur forme ou de leur disponibilité d'emplacement. Le stockage aléatoire permet également une rotation plus équilibrée des stocks, ce qui réduit le risque de sur stockage ou de rupture de stock. Cependant, cette approche nécessite une gestion informatisée des emplacements et des stocks pour garantir une localisation efficace des produits lorsque cela est nécessaire (Lamming, 2012).

### B. Stockage dédié

Implique l'attribution d'emplacements spécifiques à des produits ou à des catégories de produits. Cette stratégie est souvent utilisée pour les produits à forte rotation ou à exigences particulières en termes de sécurité ou de conditions de stockage. Le stockage dédié facilite la localisation des produits et réduit les risques d'erreurs lors de la préparation des commandes. Cependant, il peut entraîner une utilisation moins efficace de l'espace et nécessiter une planification précise pour maximiser l'efficacité (Chopra & Sodhi, 2004).

### C. Stockage par classe

C'est une stratégie qui implique la classification des produits en fonction de leur importance relative ou de leurs caractéristiques spécifiques. Cette approche permet d'adapter les méthodes de stockage et de gestion en fonction des besoins spécifiques de chaque catégorie de produits. Parmi les méthodes de classification les plus couramment utilisées, on trouve la classification ABC, basée sur le volume des ventes; la classification FMR, basée sur la fréquence des commandes; et la classification XYZ, basée sur la fluctuation de la demande.

- **Classification FMR** classe les produits en fonction de la fréquence à laquelle ils sont commandés par les clients. Les produits à forte fréquence de commandes sont généralement stockés près des zones de prélèvement pour faciliter leur accessibilité et accélérer le processus de préparation des commandes. En revanche, les produits à faible fréquence de commandes peuvent être stockés dans des zones moins accessibles pour libérer de l'espace pour les produits à forte rotation (**Waters, 2021**).
- **Classification ABC** divise les produits en trois catégories en fonction de leur contribution au chiffre d'affaires total de l'entreprise. Les produits de la catégorie A représentent généralement une petite proportion du volume total des produits, mais contribuent de manière significative au chiffre d'affaires. Les produits de la catégorie B ont un volume de ventes moyen, tandis que les produits de la catégorie C ont un volume de ventes faible. Cette classification permet aux entreprises de concentrer leurs efforts de gestion sur les produits les plus rentables et de rationaliser les processus de stockage et de réapprovisionnement en conséquence (**Ballou, 2015**).
- **Classification XYZ** classe les produits en fonction de la variabilité de leur demande sur une période donnée. Les produits de classe X sont caractérisés par une demande stable et prévisible, tandis que les produits de classe Y présentent une demande moyennement variable. Enfin, les produits de classe

Z sont sujets à des fluctuations importantes de la demande, ce qui rend leur gestion plus complexe. En utilisant cette classification, les entreprises peuvent ajuster leurs niveaux de stock et leurs stratégies de réapprovisionnement pour mieux répondre aux variations de la demande et minimiser les risques de surstockage ou de rupture de stock (Chopra & Sodhi, 2004)

Pour une gestion encore plus efficace, il est possible d'adopter une classification hybride. Cette méthode combine plusieurs approches de classification des produits afin d'optimiser la gestion des stocks en tirant parti des avantages de chaque méthode tout en compensant leurs limites respectives. Grâce à cette approche polyvalente, les entrepôts peuvent adapter leurs processus de stockage et de réapprovisionnement de manière plus précise et efficace, en tenant compte à la fois de la fréquence des commandes, de la contribution au chiffre d'affaires et de la variabilité de la demande.

### Classification Hybride ABC/FMR

L'objectif de cette classification est d'optimiser la gestion des stocks en priorisant les produits à forte valeur et à haute fréquence de commande. En combinant ces deux critères, cette approche vise à maximiser l'efficacité opérationnelle en minimisant les coûts de stockage tout en assurant une disponibilité adéquate des produits les plus demandés par les clients.

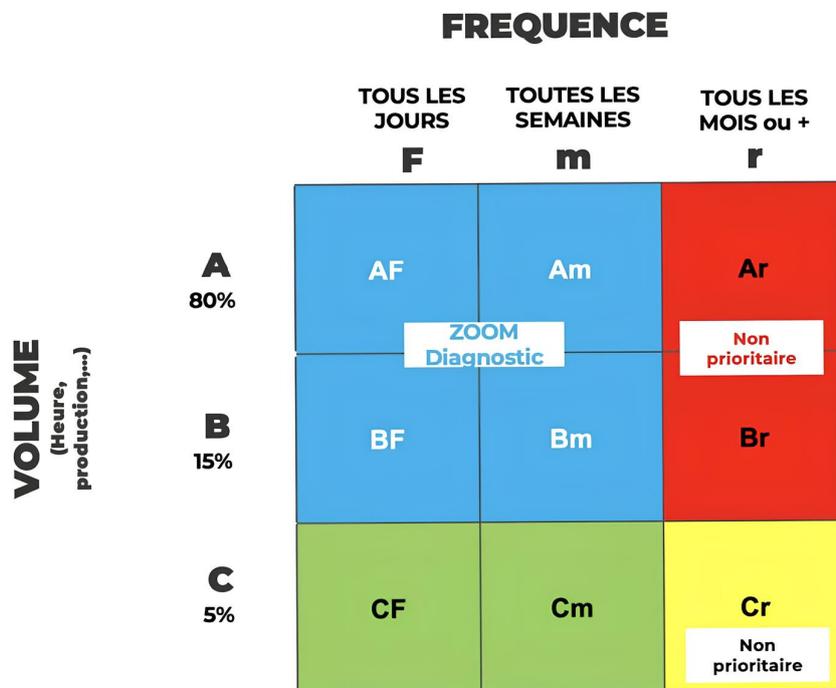


FIGURE 7 – Classification Hybride ABC/FMR (Julian CHARLES 2023)

### Classification Hybride ABC/XYZ

L'objectif de cette classification est d'optimiser la gestion des stocks en tenant compte à la fois de la valeur relative des produits pour l'entreprise (ABC) et de la variabilité de la demande (XYZ). Cela permet de mieux ajuster les niveaux de stock et les stratégies de réapprovisionnement, minimisant ainsi les coûts tout en assurant une disponibilité adéquate des produits pour répondre aux fluctuations de la demande sur le marché.

En explorant ces différentes stratégies de stockage, il devient évident que la clé de l'optimisation des entrepôts réside dans la capacité à adapter les méthodes de gestion des stocks aux caractéristiques spécifiques des produits et aux besoins de l'entreprise. Cependant, une fois que les produits sont classifiés et stockés de manière stratégique, une autre étape cruciale entre en jeu : **les modes d'allocation**. Ces modes déterminent comment les ressources, telles que les emplacements de stockage et les équipements de manutention, sont attribuées pour garantir un flux de travail fluide et efficace.

L'allocation des emplacements de stockage dans un entrepôt est une décision stratégique qui influence directe-

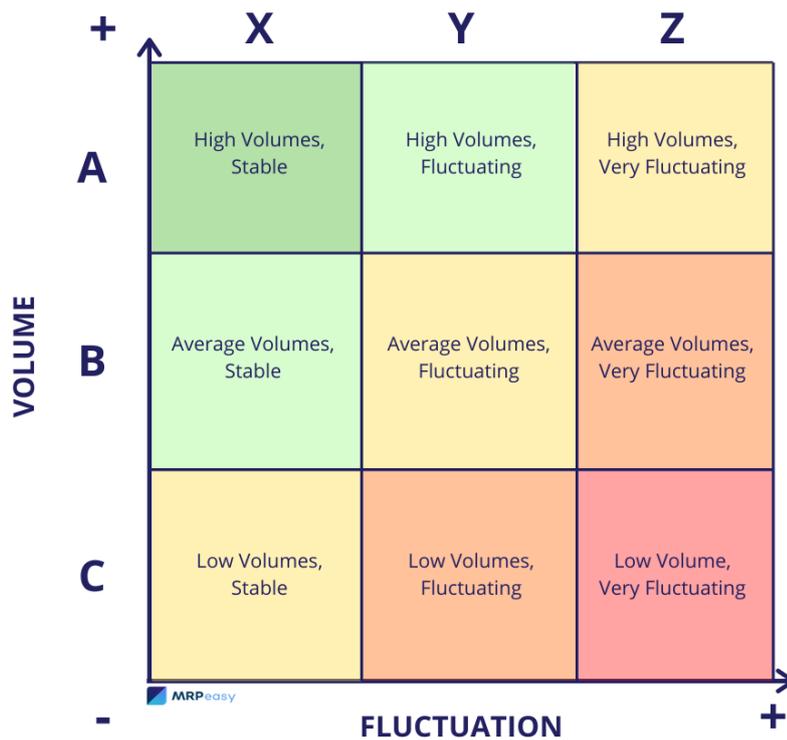


FIGURE 8 – Classification ABC/XYZ (MRPeasy)

ment l'efficacité opérationnelle et la productivité globale. Deux principales approches sont utilisées pour allouer les emplacements de stockage : l'allocation statique et l'allocation dynamique.

### A. Allocation statique

Elle implique l'attribution permanente d'emplacements spécifiques à des produits ou à des catégories de produits. Une fois les emplacements assignés, ils restent généralement fixes et ne sont pas modifiés sauf en cas de réorganisation majeure de l'entrepôt. Cette approche offre une certaine prévisibilité et une facilité de gestion, car les produits sont toujours rangés au même endroit. Cependant, elle peut entraîner une sous-utilisation de l'espace et une faible flexibilité pour s'adapter aux changements dans la demande ou dans les caractéristiques des produits (Lamming, 2012).

### B. Allocation dynamique

Elle permet une flexibilité accrue en termes d'emplacements de stockage. Les emplacements sont assignés en fonction des besoins actuels de l'entrepôt et peuvent être ajustés en temps réel en fonction des variations de la demande ou des caractéristiques des produits. Cette approche favorise une utilisation plus efficace de l'espace disponible et une meilleure adaptation aux fluctuations du marché. De plus, elle permet une optimisation continue des processus de stockage et de prélèvement, ce qui améliore l'efficacité opérationnelle de l'entrepôt (Chopra & Sodhi, 2004).

L'allocation optimale des ressources permet de minimiser les temps de déplacement et de maximiser la productivité des opérateurs. En intégrant des systèmes d'allocation intelligents, les entrepôts peuvent améliorer la gestion des flux de marchandises et répondre plus rapidement aux demandes des clients. Mais l'efficacité ne s'arrête pas là. Une gestion optimale des stocks et des ressources doit s'accompagner d'une **traçabilité** rigoureuse pour garantir la transparence et le contrôle tout au long de la chaîne logistique.

## 2.2. Traçabilité

La traçabilité est devenue une préoccupation centrale pour les consommateurs, les entreprises et les autorités publiques. Les consommateurs exigent des garanties sur la qualité et la sécurité des produits. Les entreprises, quant à elles, doivent se conformer à des réglementations strictes tout en préservant leur image de marque. Les autorités publiques utilisent la traçabilité pour mieux gérer les risques et les crises.

Historiquement, la traçabilité a émergé des besoins de qualité et de gestion logistique, particulièrement dans l'industrie. Ce concept, bien établi dans l'actualité, a récemment capté l'attention du monde académique, avec un intérêt porté sur les flux entre entreprises et leurs partenaires directs, aussi bien en amont qu'en aval, en adoptant une approche axée sur la qualité et la logistique.

Les évolutions du secteur logistique, marquées par la mondialisation, l'externalisation de certaines activités et l'expansion vers de nouveaux marchés, ainsi que les progrès technologiques favorisant une digitalisation intensive, imposent de considérer la traçabilité à l'échelle de la chaîne logistique complète. Cependant, établir une vision globale cohérente demeure un défi.

Dans ce cadre, la traçabilité dans les entrepôts joue un rôle très important. Les entrepôts, véritables nœuds de la chaîne logistique, doivent assurer une gestion rigoureuse des stocks et des mouvements de marchandises.

La traçabilité au sein des entrepôts permet de suivre en temps réel l'historique, l'utilisation et l'emplacement des produits, garantissant ainsi une meilleure coordination et une réponse plus rapide aux demandes du marché. En outre, elle contribue à réduire les erreurs, optimiser les processus et améliorer la transparence tout au long de la chaîne logistique.

L'amélioration de la traçabilité dans les entrepôts repose sur l'adoption de technologies avancées telles que les systèmes de gestion d'entrepôt (WMS), les codes-barres, les étiquettes RFID et les solutions de gestion en temps réel. Ces outils permettent de collecter et d'analyser des données précises, facilitant ainsi une prise de décision rapide et éclairée. En abordant les enjeux spécifiques de la traçabilité dans les entrepôts, il est possible de mieux comprendre son rôle dans l'efficacité et la sécurité des opérations logistiques au sein de la chaîne globale.

Le terme "traçabilité" est apparu pour la première fois en 1987 dans la norme XF 50-120. Il était défini comme la "capacité de retrouver l'historique, la localisation ou l'utilisation d'un produit au moyen d'une identification enregistrée".

### Évolutions de la définition :

- 1995 : La norme ISO 8402 reprend la définition en introduisant la notion d'entité.
- 1998 : Le Petit Larousse et le Robert définissent la traçabilité comme la "possibilité de suivre un produit aux différents stades de sa production, de sa transformation et de sa commercialisation".
- 2000 : La norme ISO 9000 propose une définition plus précise : "l'aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre, l'emplacement de ce qui est examiné".

La traçabilité est un concept essentiel au sein des entreprises, introduit dans les années 1980, notamment dans le contexte du Total Quality Management. Elle revêt une double importance : d'une part, elle garantit la sécurité du consommateur, et d'autre part, elle contribue à la performance globale des entreprises.

La traçabilité interne, également appelée traçabilité des processus, se concentre sur le suivi des marchandises au sein de l'entrepôt ou de l'usine de production (*voir figure 9*). Elle englobe divers éléments, tels que les mesures liées à la manipulation ou à la fabrication des produits, la liste des matériaux composant un produit (BOM), ainsi que les engins de manutention utilisés.

Contrairement à la traçabilité externe, qui concerne l'échange d'informations et de produits entre les différents maillons de la chaîne logistique, la traçabilité interne se focalise sur les opérations internes. Mecalux. (2020, 6 novembre)

Dans les secteurs sensibles à la qualité et à la sécurité du stock, comme l'industrie alimentaire et pharmaceutique, la traçabilité interne est devenue une exigence logistique clé. Clients et fournisseurs réclament désormais un contrôle minutieux de l'historique de fabrication, de stockage et de préparation des commandes. Kyubi. (2022, 11 mars)

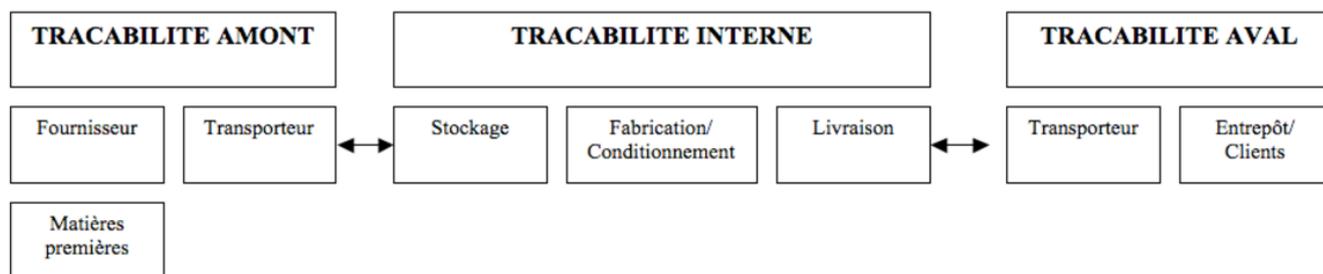


FIGURE 9 – Tracabilité Interne

Pour assurer une traçabilité permanente et exploitable du parcours des marchandises dans l'entrepôt, voici quelques éléments à prendre en compte :

- **Enregistrement dans des systèmes de communication internes** : Le responsable logistique doit synchroniser tous les dispositifs et zones de l'installation pour garantir la bonne communication des informations sur un produit à chaque étape de son parcours.
- **Identification des matériaux et des processus** : Enregistrer les matériaux utilisés, les opérations de fabrication, et les équipements impliqués.
- **Logiciel de gestion de la traçabilité** : Utiliser des outils informatiques pour suivre et enregistrer les mouvements des produits dans l'entrepôt.

La traçabilité interne est bien plus qu'un simple mécanisme de sécurité. Elle peut être un vecteur de développement stratégique, offrant un avantage concurrentiel et contribuant à la pérennité de l'entreprise. En maîtrisant les flux et en garantissant la qualité des produits, elle joue un rôle crucial dans la logistique moderne. Techniques de l'ingénieur.

### 3. Préviation de la Demande stratégie et méthodes

La préviation, en tant que discipline, consiste à anticiper l'avenir et constitue le fondement de toute planification. Elle représente un puissant instrument de gestion et de prise de décision pour les entreprises. En effet, les activités des entreprises reposent sur des prévisions à différents horizons, mais convergent vers un objectif commun : anticiper les évolutions du marché et prendre les mesures appropriées, tout en optimisant les coûts et en répondant efficacement à la demande. (Makridakis, Wheelwright, 1998)

Dans le but d'assurer la fiabilité des données et d'analyser la nature de la demande de manière approfondie, il est crucial de choisir judicieusement sa stratégie de préviation. Deux principales stratégies de préviation sont généralement utilisées :

- **La stratégie Top-Down** : Elle implique de réaliser des prévisions à partir de données agrégées, que ce soit en termes de temps, de types de produits, de zones géographiques, etc. L'objectif est de regrouper les produits présentant des comportements similaires selon différents paramètres, d'établir une première préviation, puis de la décomposer pour obtenir des prévisions à un niveau plus détaillé.
- **La stratégie Bottom-Up** : Elle implique de réaliser des prévisions pour chaque référence de produit individuellement, ce qui permet d'analyser les fluctuations au niveau le plus fin. Ensuite, ces prévisions sont agrégées pour obtenir une vision globale.

Avant d'établir des prévisions, il est essentiel de définir leur horizon. Si l'objectif est de planifier l'activité opérationnelle immédiate, alors il s'agit de prévisions à court terme. Contrairement aux prévisions à moyen terme qui ne servent pas les activités tactiques telles que les budgets et les plans annuels. En revanche, les prévisions à long terme concernent les décisions d'investissement ou de lancement de produits ou services avec une portée qui dépasse les 2 ans. (Hyndman, Athanopoulos, 2018)

La discipline de la préviation, à la fois science et art, se situe dans le domaine de l'analyse des données, qui se divise en deux principales approches en fonction des outils utilisés. Tout d'abord, la statistique consiste à ajuster les données à un modèle prédéterminé dont les paramètres peuvent varier. Cette approche implique

généralement l'hypothèse que les observations suivent une distribution connue, suivie de sa validation par des tests.

Ensuite, le Machine Learning est une méthode d'auto-apprentissage, où une intelligence artificielle permet à la machine de générer des estimations ou des prévisions dont la performance s'améliore avec l'augmentation du volume de données rencontrées.

En outre, il existe des méthodes de prévision qualitatives, basées sur des données subjectives et faisant appel à l'expertise des responsables, managers ou opérateurs. La méthode la plus célèbre est la méthode Delphi, qui consiste à poser une série de questions à un cercle permanent d'experts à plusieurs reprises. Malgré son coût moindre et le peu de technologie requise, cette technique de prévision est peu recommandée en raison de sa subjectivité. (Chase Jr, 2013)

### 3.1. Méthode de Prévision Statistiques

Les méthodes quantitatives reposent sur l'analyse statistique du comportement et de l'évolution des données historiques, également appelées séries temporelles. Elles visent à établir une relation causale entre certaines variables explicatives, désignées comme exogènes, et une variable à prédire, appelée endogène.

Les méthodes quantitatives de prévision peuvent être catégorisées en deux grandes classes :

- **Les modèles causaux** : Ces méthodes permettent d'identifier les relations de causalité entre des variables indépendantes (variables exogènes) et la variable objet de la prévision (variable endogène), en se basant sur une théorie économique. Elles consistent à élaborer des modèles de régression à partir des séries chronologiques de ces variables afin de prédire le comportement de la variable endogène en fonction de l'évolution des variables exogènes.
- **Les méthodes auto-projectives (série chronologique)** : La modélisation auto-projective repose exclusivement sur les données historiques de la variable à prédire. Son principe de base consiste à filtrer la série  $Y_t$  à l'aide d'outils mathématiques et statistiques pour obtenir les valeurs futures  $y_{t+h}$ .

Chaque catégorie citée constitue le point de départ des méthodes de planification de la demande dans le domaine de la gestion industrielle, participant à l'élaboration de prévisions à moyen et à court terme.

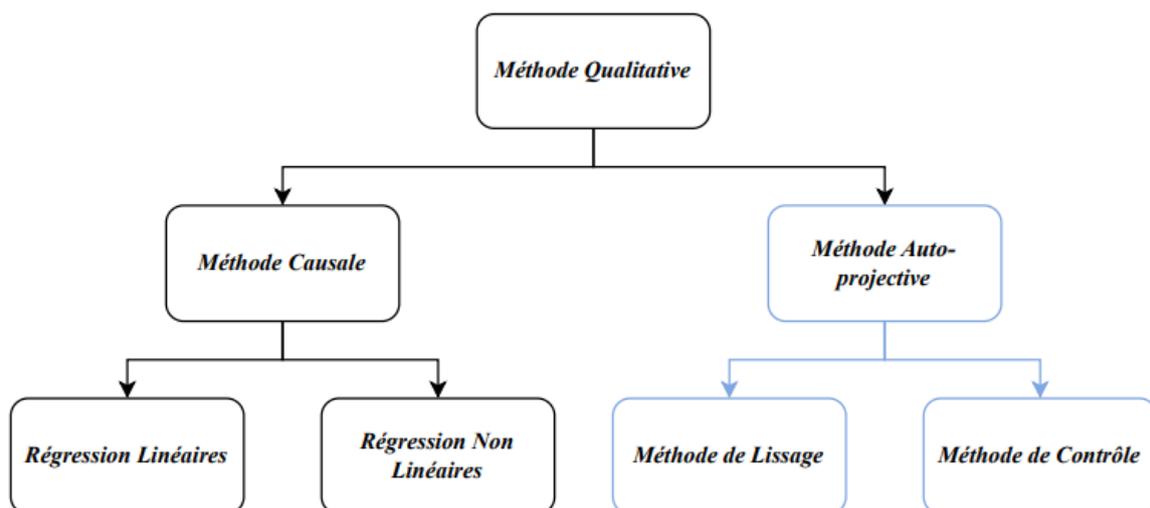


FIGURE 10 – Différents types d'approches quantitatives de prévision

### Les méthodes auto-projectives

Ces méthodes s'intéressent aux séries chronologiques qui se décompose comme suit :

$$Y_t = S(t) + M(t) + U(t)$$

Dans cette équation,  $Y_t$  représente la série chronologique totale, qui est la somme de trois composantes :

- $S(t)$  : la composante de saisonnalité,
- $M(t)$  : la composante de tendance
- $U(t)$  : la composante aléatoire.

Ces séries temporelles affichent une saisonnalité et une tendance. La saisonnalité se rapporte aux variations cycliques qui se produisent à des intervalles réguliers dans le temps, tandis que la tendance reflète l'évolution à long terme des données, indépendamment des variations saisonnières.

**L'élaboration de la méthode auto-projective passe par plusieurs étapes et se résume comme suit (voir figure 11) :**

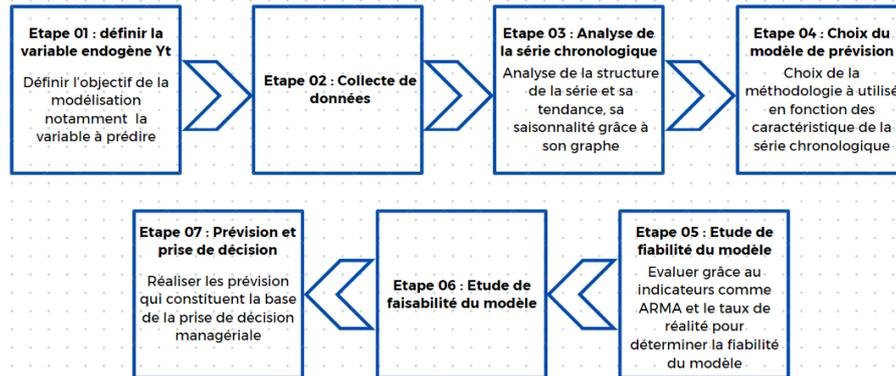


FIGURE 11 – Étapes de prévision avec Méthodes auto-projectives

Les méthodes auto-projectives sont classées en deux catégories : les techniques de lissage et les techniques de contrôle (Box Jenkins). (Petropoulos, Makridakis, Assimakopoulos & Nikolopoulos, 2014)

## 1. Les Techniques de Lissage

Les techniques de lissage sont couramment utilisées pour les prévisions à court terme. Elles visent à distinguer entre les fluctuations aléatoires et la tendance de base des données en utilisant des filtres linéaires sur les valeurs historiques pour éliminer ces variations. (Brown, 1959)

- **Moyenne Mobile** : Cette méthode, l'une des plus élémentaires, consiste à prédire la demande en calculant la moyenne des  $N$  dernières valeurs historiques. Elle convient aux produits à faible variance et son expression est la suivante :

$$P_t = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D_{t-k}$$

où  $P_t$  est la prévision pour la période  $t$ ,  $D_t$  est la demande réelle pour la période  $t$ , et  $N$  est le nombre de périodes prises en compte.

- **Lissage exponentiel simple** : Cette méthode permet une pondération particulière des données passées. Elle convient aux séries sans saisonnalité ni tendance apparentes (séries stationnaires) et son modèle est le suivant :

$$P_t = P_{t-1} + \alpha(D_t - P_{t-1})$$

où  $\alpha$  est le coefficient de lissage ( $0 < \alpha < 1$ ).

- **Lissage exponentiel double** : Connue sous le nom de lissage de Brown, ce modèle consiste à appliquer le lissage précédent à une série déjà lissée, prenant en compte le caractère tendanciel de la série chronologique tout en faisant abstraction de son caractère saisonnier. Son expression est la suivante :

$$P_{t+h} = a_{0t} + a_{1t} \cdot h$$

où  $h$  représente l'horizon de la prévision,  $a_{0t}$  est la moyenne lissée de la série en  $t$ , et  $a_{1t}$  est la pente de la tendance estimée en  $t$ .

- **Lissage exponentiel triple (Holt-Winter)** : Cette méthode, adaptée aux séries homogènes en tendance et en saisonnalité, améliore les techniques de lissage exponentiel et de moyenne mobile. Elle nécessite l'estimation de trois paramètres : tendance, variation et saisonnalité. Son modèle additif est le suivant :

$$P_{t-h} = (a_{0t} + a_{1t} \cdot h) \cdot S_{t-p+h} \quad \text{si } 1 \leq h \leq p$$

$$P_{t-h} = (a_{0t} + a_{1t} \cdot h) \cdot S_{t-p+3h} \quad \text{si } p+1 \leq h \leq 2p$$

où  $P_{t-h}$  représente la prévision pour la période  $t+h$ ,  $D_t$  est la demande réelle à la période  $t$ ,  $a_{0t}$  est la moyenne lissée de la série en  $t$ ,  $a_{1t}$  est la pente de la tendance estimée en  $t$ , et  $S_t$  est le coefficient saisonnier en  $t$ .

## 2. Les Techniques de Contrôle

### • Concept de stationnarité

Une série chronologique est dite stationnaire si elle ne comporte ni saisonnalité ni autre facteur évoluant avec le temps. Formellement, une série stationnaire  $X_t$  pour  $t = 1, \dots, T$  est définie par ses caractéristiques stochastiques invariantes, vérifiant les conditions suivantes :

- $E(Y_t) = \mu$  pour toute valeur de  $t$ .
- $Var(Y_t) = \sigma^2$  pour toute valeur de  $t$ .
- $Cov(Y_t, Y_{t+1}) = E[(Y_t - \mu)(Y_{t-k} - \mu)] = Y_k$  pour toute valeur de  $t$ .

**La série  $\epsilon_t$ , qui représente le résidu, est un bruit blanc si :**

- $E(\epsilon_t) = 0$  pour toute valeur de  $t$ .
- $Var(\epsilon_t) = \sigma_\epsilon^2$  pour toute valeur de  $t$ .
- $Cov(\epsilon_t, \epsilon_{t+1}) = 0$  pour toute valeur de  $t$ .

**Dans le cas contraire, la série est non stationnaire et peut être de deux types :**

- **Type DS (Differency Stationary) :**

$$X_t = X_{t-1} + \beta + \epsilon_t$$

avec  $\beta$  constante. Ce type de processus peut être stationnarisé en utilisant un filtre de différences.

- **Type TS (Trend Stationary) :**

$$X_t = f_t + \epsilon_t$$

où  $f_t$  est une fonction polynomiale du temps et  $\epsilon_t$  représente l'erreur du modèle à la période  $t$ . Il peut être stationnarisé en retranchant la valeur estimée  $\alpha + \beta t$  grâce à la méthode des moindres carrés ordinaires.

### • Test de Dickey-Fuller simple

Le test de racine unitaire de Dickey-Fuller est un test statistique qui vise à déterminer si une série temporelle est stationnaire. Au cours de ce test, nous supposons que l'erreur de la série ( $\epsilon_t$ ) suit une distribution normale. Les modèles servant de base à la construction de ce test sont au nombre de trois :

1.  $X_t = \phi_1 \times X_{t-1}$  : Modèle autorégressif d'ordre 1.
2.  $X_t = \phi_1 \times X_{t-1} + bt + c$  : Modèle autorégressif d'ordre 1 avec constante.
3.  $X_t = \phi_1 \times X_{t-1} + bt + c + \epsilon_t$  : Modèle autorégressif d'ordre 1 avec tendance et constante.

**Les hypothèses du test sont les suivantes :**

$$\begin{cases} H_0 : \phi_1 = 1 & \text{la s\u00e9rie est non stationnaire} \Leftrightarrow \text{existence d'une racine unitaire} \\ H_1 : \phi_1 < 1 & \text{la s\u00e9rie est stationnaire} \Leftrightarrow \text{absence de la racine unitaire} \end{cases}$$

Avec :  $\phi_1$  : la racine unitaire,  $c$  : la constante,  $b$  : coefficient de la tendance,  $\epsilon_t$  : l'erreur pr\u00e9visionnelle \u00e0 bruit blanc.

### • Test de Dickey-Fuller augment\u00e9

Le test de Dickey-Fuller augment\u00e9 (ADF, pour Augmented Dickey-Fuller) est un test statistique utilis\u00e9 pour d\u00e9terminer si une s\u00e9rie temporelle est stationnaire. La stationnarit\u00e9 d'une s\u00e9rie temporelle signifie que ses propri\u00e9t\u00e9s statistiques, telles que la moyenne et la variance, restent constantes dans le temps. Ce test est crucial dans l'analyse des s\u00e9ries temporelles, car de nombreux mod\u00e8les statistiques n\u00e9cessitent des s\u00e9ries stationnaires pour produire des r\u00e9sultats fiables. il vise \u00e0 :

- D\u00e9terminer la stationnarit\u00e9 : V\u00e9rifier si une s\u00e9rie temporelle poss\u00e8de une racine unitaire, ce qui indiquerait qu'elle n'est pas stationnaire.
- Ajuster les mod\u00e8les de s\u00e9ries temporelles : Aider \u00e0 d\u00e9cider si des transformations (comme la diff\u00e9renciation) sont n\u00e9cessaires pour rendre une s\u00e9rie stationnaire.

Il existe une version du Test de Dickey-Fuller Augment\u00e9, qui est similaire au pr\u00e9c\u00e9dent mais ne suppose pas que l'erreur est \u00e0 bruit blanc. Le sch\u00e9ma suivant r\u00e9capitule l'ensemble des \u00e9tapes \u00e0 suivre lors du test de racine unitaire de Dickey-Fuller (voir figure 12) :

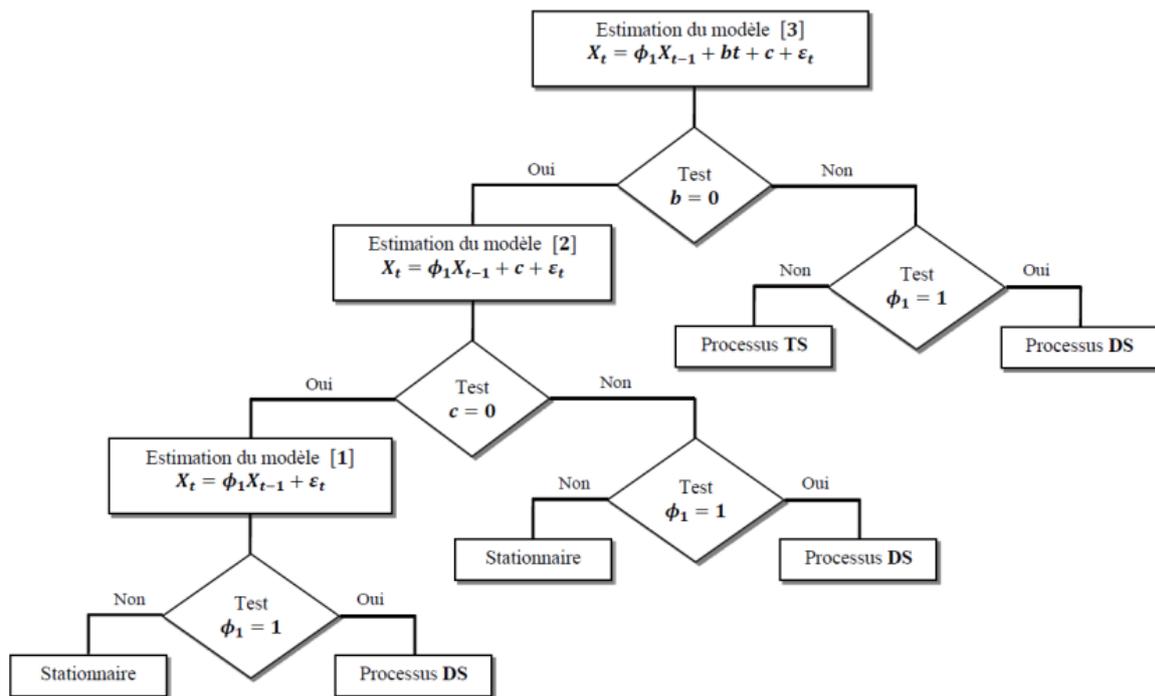


FIGURE 12 – Strat\u00e9gie du Test de Dickey-Fuller

### • Box Jenkins (BJ)

La m\u00e9thode de pr\u00e9vision de Box Jenkins (BJ) est con\u00e7ue pour traiter des s\u00e9ries chronologiques perturb\u00e9es et complexes, surpassant ainsi les capacit\u00e9s des techniques de lissage. Elle est fr\u00e9quemment utilis\u00e9e par les pr\u00e9visionnistes \u00e0 l'aide de logiciels de pr\u00e9vision sp\u00e9cialis\u00e9s.

Le mod\u00e8le Box-Jenkins pr\u00e9voit les donn\u00e9es en s'appuyant sur trois principes fondamentaux : l'auto-r\u00e9gression, la diff\u00e9renciation, et la moyenne mobile. Ces principes sont d\u00e9sign\u00e9s par les param\u00e8tres  $p$ ,  $d$ , et  $q$ , respectivement, et ensemble, ils forment le mod\u00e8le ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average). Un mod\u00e8le ARIMA peut \u00eatre d\u00e9compos\u00e9 comme suit :

- **Auto-régression (AR)** : Ce composant modélise une variable dépendante des valeurs passées de cette même variable.
- **Intégré (I)** : Cela représente la différenciation des observations brutes afin de rendre la série temporelle stationnaire, c'est-à-dire que les valeurs des données sont remplacées par les différences entre les valeurs actuelles et précédentes.
- **Moyenne mobile (MA)** : Ce composant incorpore la dépendance entre une observation et une erreur résiduelle provenant d'un modèle de moyenne mobile appliqué aux observations passées.

Le processus d'auto-régression ( $p$ ) évalue la stationnarité des données. Si les données sont stationnaires, le processus de prévision est simplifié. Si les données ne sont pas stationnaires, elles doivent être différenciées ( $d$ ). L'adéquation des données à la moyenne mobile ( $q$ ) est également testée.

En somme, l'analyse initiale des données prépare celles-ci à la prévision en déterminant les paramètres ( $p$ ,  $d$ ,  $q$ ), qui sont ensuite utilisés pour élaborer une prévision précise.

La procédure de prévision avec la méthode de Box-Jenkins implique plusieurs étapes, schématisées dans la Figure 13. (Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. 2015)

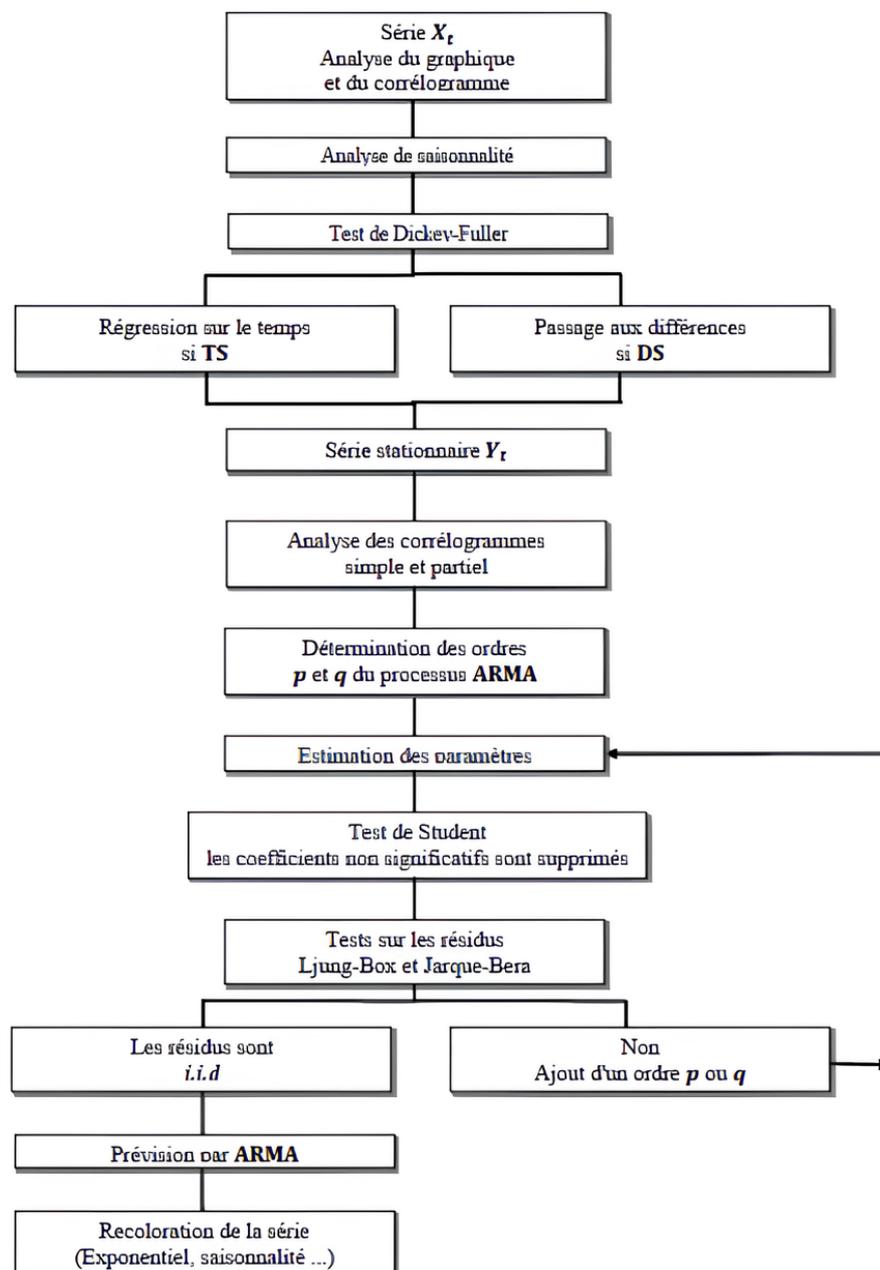


FIGURE 13 – Processus de prévision par Box et Jenkins

- **Tableau de synthèse**

Afin de synthétiser l'ensemble des méthodes de prévision décrites et des principes abordés dans ce chapitre, le tableau en *annexe M* apporte des éléments de comparaison permettant d'identifier selon le contexte et la nature des données, la meilleure méthode quantitative pour la réalisation des prévisions.

### 3.2. Méthodes de Prévisions basées sur le Machine Learning

Les algorithmes de prévision en apprentissage automatique utilisent des techniques plus complexes en termes de caractéristiques et de méthodes de prédiction, tout en partageant l'objectif commun des méthodes traditionnelles : améliorer la précision des prévisions tout en minimisant une fonction de perte. La principale différence réside dans la manière de minimiser ces fonctions, car la plupart des méthodes d'apprentissage automatique utilisent des techniques non linéaires, contrairement aux méthodes statistiques.

Voici quelques exemples de modèles de prévision en apprentissage automatique :

- Réseaux neuronaux artificiels
- Réseaux neuronaux de régression généralisée
- Forêt aléatoire
- Régression par vecteur de support
- Processus gaussiens
- Arbres de classification et de régression (CART)

La prévision basée sur l'apprentissage automatique passe par plusieurs étapes, de la préparation et la collecte des données à la construction et la sélection du modèle. Cela implique l'entraînement du modèle avec des données divisées en deux segments : celui du test et celui de l'entraînement. La Figure 14 illustre les 9 grandes étapes de la prévision en apprentissage automatique.

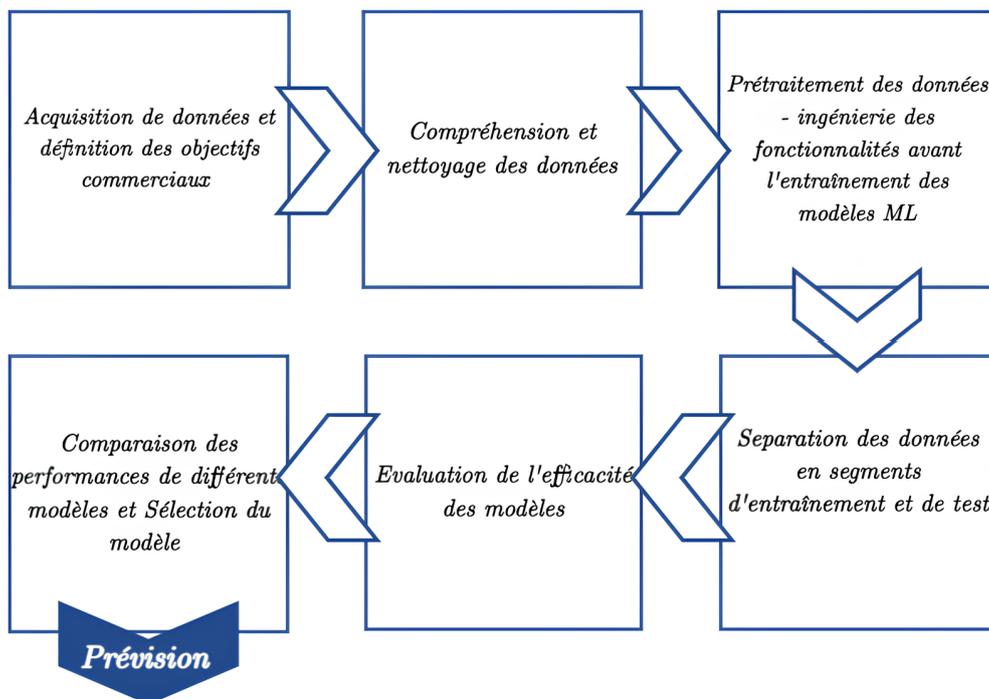


FIGURE 14 – Étapes des prévisions basées sur le Machine Learning

- **Facebook Prophet**

Facebook Prophet est un algorithme open-source de prévision basé sur l'apprentissage automatique des modèles de séries temporelles qui utilisent quelques vieilles idées avec de nouvelles tournures. Cet algorithme présente

de multiples avantages :

- **Précis et rapide** : Prophet est utilisé dans de nombreuses applications sur Facebook pour produire des prévisions fiables pour la planification et la fixation d'objectifs.
- **Entièrement automatique** : Prophet est robuste aux valeurs aberrantes, aux données manquantes et aux changements dans les séries chronologiques.
- **Disponible en R ou Python** : Les utilisateurs ont le choix entre R ou Python pour utiliser cet algorithme.



FIGURE 15 – Facebook Prophet logo

Pour tester la fiabilité des prévisions, une étape importante avant la validation est de définir des indicateurs de performance. Le tableau suivant (2.1) énumère les différents indicateurs de qualité de prévision les plus utilisés.

$F_t$  : Prévision de l'endogène à la période  $t$ ;  $Y_t$  : Valeur réelle de l'endogène à la période  $t$ .

TABLE 2.1 – Indicateurs de Fiabilité des prévisions

Notation	Indicateur	Formule
E	Erreur brute de prévision	$E_t = F_t - Y_t$
MSE	Erreur quadratique moyenne (Mean Squared Error)	$MSE_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2$
MAD	L'écart absolu moyen (Mean Absolute Deviation)	$MAD_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n  E_t $
MAPE	Pourcentage d'erreur moyenne absolue (Mean Absolute Percentage Error)	$MAPE_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left( \frac{E_t}{Y_t} \right) \times 100$

À la lumière de ces considérations sur les prévisions de la demande, il est clair que leur rôle est crucial pour orienter efficacement la planification opérationnelle. En fournissant une vision anticipée des besoins futurs, les prévisions permettent de préparer stratégiquement les ressources et d'optimiser la gestion des stocks. Cependant, pour traduire ces prévisions en actions concrètes, il est nécessaire d'adopter une approche systématique et mathématique comme la programmation linéaire.

Cette méthodologie offre la possibilité d'optimiser de manière rigoureuse l'allocation des ressources en fonction des objectifs définis, assurant ainsi une réactivité optimale aux variations prévues de la demande.

En conclusion, la prévision joue un rôle essentiel dans l'anticipation des besoins et des tendances du marché. Elle permet aux entreprises de se préparer adéquatement et de prendre des décisions éclairées. Cependant, pour que ces prévisions se traduisent en actions concrètes et efficaces, il est essentiel de passer à l'étape suivante : la planification. Cette dernière transforme les données prévisionnelles en stratégies opérationnelles, assurant ainsi que les ressources sont allouées de manière optimale et que les objectifs de l'entreprise sont atteints.

## 4. Planification et Suivi de la Performance Logistique

La planification est un aspect important de la stratégie de l'entreprise. Afin d'atteindre les objectifs commerciaux qu'elle s'est fixée, elle doit s'assurer de bien planifier les flux internes et externes afin de pouvoir s'approvisionner,

produire et distribuer ses produits dans les bonnes conditions et les délais requis. Elle doit être en mesure de coordonner un grand nombre de décisions, de natures variées, et à plusieurs niveaux hiérarchiques. Les entreprises doivent se doter d'outils et de méthodes afin mieux planifier leur chaîne logistique (Stadtler, 2005).

La planification peut être définie comme un processus systématique, rationnel et guidé par la théorie pour analyser et résoudre des problèmes d'ordonnement de tâches complexes nécessitant des ressources variées. Cette notion est intimement liée à celle de l'optimisation puisqu'une grande partie du processus de planification met en œuvre les principes de modélisation mathématique pour la résolution d'un problème. En effet, le processus de planification se déroule selon les étapes suivantes :

- **Reconnaitre le problème** : c'est-à-dire détecter et reconnaître la sous-optimalité de la méthode actuelle de travail.
- **Définir le problème** : en termes d'alternatives de décision, de critères d'évaluation, d'objectifs, de variables exogènes, de variables endogènes et de contraintes.
- **Construire un modèle pour le problème** : décrire et concevoir de manière abstraite mais fiable un phénomène réel avec des variables et des contraintes, en vue de l'analyser pour comprendre son fonctionnement et pour prévoir ; en utilisant une ou plusieurs théories ; des résultats avec une certaine marge d'erreur.
- **Résoudre le modèle** : grâce à un algorithme capable de trouver une solution optimale globale ou locale en un temps acceptable.
- **Valider les solutions obtenues** : grâce à une analyse de sensibilité et des tests rétrospectifs.
- **Mettre en œuvre une solution** : soit par une implémentation unique ou bien itérative.

#### 4.1. Problème de planification de stockage et d'allocation dynamique

La planification de stockage est une composante critique de la gestion de la chaîne logistique, déterminant la capacité d'une entreprise à maintenir un équilibre optimal entre l'offre et la demande. Elle concerne la détermination des quantités de produits à stocker, leur emplacement et la gestion des flux entrants et sortants pour minimiser les coûts tout en garantissant la disponibilité des produits. Cependant, plusieurs problèmes peuvent survenir au cours de ce processus.

- **Prévisions de la Demande** : L'un des défis majeurs de la planification de stockage est la prévision précise de la demande. Les fluctuations de la demande, les tendances saisonnières et les changements imprévus du marché peuvent rendre les prévisions difficiles. Des prévisions inexactes peuvent conduire à des surstocks coûteux ou à des ruptures de stock, affectant la satisfaction client et les performances financières de l'entreprise (Silver, Pyke, et Peterson, 1998).
- **Variabilité des délais de livraison** : est un autre facteur de complexité dans la planification de stockage. Les retards dans l'approvisionnement peuvent perturber la production et la distribution, nécessitant des ajustements fréquents des niveaux de stock pour éviter des interruptions. La gestion efficace des délais de livraison et la mise en place de stratégies d'atténuation des risques sont cruciales pour minimiser ces impacts (Nahmias et Olsen, 2015).
- **Optimisation des coûts de stockage** : implique un équilibre entre les coûts de maintien des stocks, les coûts de commande et les coûts de rupture. Une mauvaise gestion de ces coûts peut réduire significativement les marges bénéficiaires. Par exemple, des niveaux de stock excessifs augmentent les coûts de stockage et de gestion, tandis que des niveaux insuffisants peuvent entraîner des pertes de ventes et des pénalités pour retard (Zipkin, 2000).
- **Gestion des Capacités de Stockage** : Les capacités de stockage limitées représentent un autre défi. Les entreprises doivent non seulement décider des quantités à stocker mais aussi de l'emplacement optimal pour minimiser les coûts de transport et maximiser l'efficacité de la distribution. Une mauvaise gestion des capacités de stockage peut entraîner des inefficacités et des coûts supplémentaires (Chopra et Meindl, 2016).

- **Technologies de Gestion de Stock** : L'adoption de technologies avancées telles que les systèmes de gestion des stocks (SGS) et les solutions de traçabilité peut améliorer considérablement la précision de la planification de stockage. Ces technologies permettent une meilleure visibilité des niveaux de stock en temps réel, facilitent les prévisions et automatisent les processus de réapprovisionnement. Toutefois, l'implémentation et la maintenance de ces systèmes peuvent être coûteuses et nécessiter des compétences spécialisées (**Simchi-Levi, Kaminsky, et Simchi-Levi, 2008**).
- **Stratégies de Réapprovisionnement** : La mise en place de stratégies de réapprovisionnement adaptées est essentielle pour une planification efficace du stockage. Les entreprises doivent choisir entre des modèles de réapprovisionnement continu ou périodique en fonction de leurs besoins spécifiques et des caractéristiques de leurs produits. Une stratégie mal adaptée peut entraîner des inefficacités et des coûts supplémentaires (**Silver, Pyke, et Peterson, 1998**).
- **Évolution des Besoins Clients** : Les besoins des clients évoluent constamment, et les entreprises doivent adapter leur planification de stockage en conséquence. Cela implique une surveillance continue des tendances du marché, des préférences des clients et des innovations technologiques pour rester compétitif et répondre aux attentes des clients de manière efficace (**Fisher, Raman, et McClelland, 2000**).

En parallèle à ces défis de la planification de stockage, l'allocation dynamique des ressources joue un rôle crucial dans la gestion logistique. Ce processus implique la distribution des ressources disponibles de manière flexible et adaptative pour répondre aux besoins fluctuants.

L'allocation dynamique permet d'optimiser l'utilisation des ressources, réduire les coûts et améliorer la performance globale de l'entreprise. Elle offre la flexibilité nécessaire pour ajuster les niveaux de stock, gérer les délais de livraison et répondre aux variations de la demande, complétant ainsi efficacement les efforts de planification de stockage. (**Ross et al., 2008**).

## 1. Problèmes Courants dans l'Allocation Dynamique

- **Incertitude et variabilité de la demande** : Les fluctuations de la demande rendent difficile la planification précise de l'allocation des ressources. Les entreprises doivent être capables de s'adapter rapidement aux variations pour éviter des pénuries ou des surplus de ressources (**Pinedo, 2016**).
- **Complexité des contraintes** : Les contraintes multiples et souvent conflictuelles, telles que les capacités limitées, les délais et les priorités des tâches, compliquent l'allocation dynamique. La gestion de ces contraintes nécessite des algorithmes sophistiqués pour équilibrer les différentes exigences (**Baker et Trietsch, 2009**).
- **Coordination interdépartementale** : L'allocation dynamique des ressources implique souvent la coordination entre différents départements. Une communication inefficace et des objectifs mal alignés peuvent entraîner des inefficacités et des conflits internes (**Meredith et Shafer, 2019**).

## 2. Méthodes et Modèles d'Allocation Dynamique

- **Modèles d'optimisation** : Les modèles mathématiques d'optimisation, tels que la programmation linéaire et la programmation dynamique, permettent de trouver des solutions optimales en prenant en compte les différentes contraintes et objectifs (**Hillier et Lieberman, 2020**).
- **Algorithmes Heuristiques** : Les algorithmes heuristiques, tels que les algorithmes génétiques et les colonies de fourmis, offrent des solutions approximatives mais efficaces pour des problèmes complexes où les méthodes exactes sont impraticables (**Glover et Kochenberger, 2003**).
- **Approches Basées sur l'Intelligence Artificielle** : L'utilisation de l'intelligence artificielle et des techniques d'apprentissage automatique permet de développer des systèmes adaptatifs capables de s'ajuster en temps réel aux changements des conditions opérationnelles (**Russell et Norvig, 2020**).

## 4.2. Programmation Linéaire et Résolution avec Python Upper Layer Process

La programmation linéaire est une technique de modélisation mathématique utilisée pour maximiser ou minimiser une fonction linéaire soumise à diverses contraintes. Elle est particulièrement utile pour orienter les décisions

quantitatives dans la planification des affaires.

La solution d'un problème de programmation linéaire consiste à trouver la valeur optimale, qu'elle soit maximale ou minimale, de l'expression linéaire appelée fonction objectif. Celle-ci prend la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F.O} \\ \text{Max } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \\ \mathbf{S.C} \\ a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{n1}X_n \leq b_1 \\ a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{n2}X_n \leq b_2 \\ \vdots \\ a_{1m}X_1 + a_{2m}X_2 + \dots + a_{nm}X_n \leq b_m \end{array} \right.$$

**Avec**

- $X_i$  : Variable de décision,  $X_i \geq 0$
- $C_i$ ,  $a_{ij}$ , et  $b_j$  sont des constantes déterminées par les capacités, les besoins, les coûts, les profits et les autres exigences et restrictions du problème.

L'hypothèse de base dans l'application de cette méthode est que les diverses relations entre la demande et la disponibilité sont linéaires, c'est-à-dire qu'aucun des  $X_i$  n'est élevé à une puissance autre que 1. Pour obtenir la solution de ce problème, il faut trouver les valeurs des variables  $X_i$  qui satisfont simultanément toutes les inégalités. Ensuite, la fonction objective est évaluée en remplaçant les valeurs des  $X_i$  dans l'équation qui la définit.

Dans un problème d'optimisation mono-objectif, il y a une seule fonction objectif à maximiser ou minimiser, par opposition aux problèmes multi-objectifs qui en comportent plusieurs. La fonction objectif représente généralement le critère principal que l'on cherche à optimiser, tel que le coût, le profit, le temps, etc. Les objectifs dans ce type de problème sont uniques et souvent non conflictuels, ce qui signifie que l'amélioration d'un objectif n'entraîne pas nécessairement la détérioration d'un autre.

Par exemple, dans un problème de minimisation des coûts de production, l'objectif de réduire les coûts peut être atteint sans nécessairement sacrifier la qualité ou le temps de production. Les problèmes d'optimisation mono-objectif peuvent être résolus à l'aide de diverses méthodes, en fonction de la nature du problème et des ressources disponibles. Voici quelques-unes des méthodes couramment utilisées :

- **Méthodes analytiques** : Ces méthodes utilisent des techniques mathématiques pour trouver une solution analytique exacte. Par exemple, dans le cas des fonctions continues et différentiables, les méthodes de dérivation peuvent être utilisées pour trouver les points critiques où la fonction atteint un maximum ou un minimum.
- **Méthodes numériques** : Ces méthodes font appel à des algorithmes numériques pour rechercher une solution. Elles sont souvent utilisées pour résoudre des problèmes complexes où les solutions analytiques ne sont pas disponibles ou pratiques. Les méthodes numériques incluent les algorithmes d'optimisation sans dérivation, tels que la méthode du gradient, la méthode de Newton, etc.
- **Méthodes heuristiques** : Ces méthodes sont utilisées pour trouver des solutions proches de l'optimalité dans des délais raisonnables, même pour des problèmes difficiles à résoudre. Les algorithmes génétiques, le recuit simulé et les méthodes basées sur les colonies de fourmis en sont des exemples.
- **Outils informatiques** : Des logiciels spécialisés, tels que CPLEX, GLPK, MATLAB Optimization Toolbox et Excel, fournissent des outils avancés pour la résolution de problèmes d'optimisation mono-objectif. Ils offrent souvent une interface conviviale et des fonctionnalités avancées pour modéliser et résoudre différents types de problèmes d'optimisation.

Parmi les outils informatique figure PuLP (Python Upper Layer Process). Ce dernier est un package Python dédié à la modélisation et à la résolution de problèmes d'optimisation. Contrairement à d'autres bibliothèques qui résolvent les problèmes d'optimisation eux-mêmes, PuLP fournit un cadre de modélisation. Cela signifie qu'il offre un ensemble de commandes et de types d'objets permettant de représenter des formulations mathématiques et des instances de problèmes dans Python.



La résolution effective des instances de problème est réalisée par un autre type d'outil appelé solveur. PuLP appelle ce solveur en notre nom, fournit la structure du modèle et les valeurs des paramètres. Une fois qu'une solution est trouvée, elle est renvoyée à PuLP.

PuLP peut être utilisé pour modéliser des problèmes linéaires appartenant aux familles LP, IP ou MILP (c'est-à-dire avec des variables réelles, entières ou une combinaison des deux). Il ne peut pas être utilisé pour des problèmes non linéaires. Par défaut, PuLP utilise le solveur GLPK, mais il peut également être interféré avec d'autres solveurs tels que CPLEX et Gurobi.

Il est largement utilisé dans divers domaines tels que la recherche opérationnelle, la logistique, la finance et l'ingénierie. En raison de sa simplicité d'utilisation et de sa puissance dans la résolution de problèmes d'optimisation linéaire, PuLP est un choix populaire parmi les praticiens et les chercheurs.

Le processus de modélisation et de résolution d'un problème d'optimisation linéaire se déroule généralement en plusieurs étapes :

**Importation de PuLP :** Tout d'abord, l'importation de PuLP dans script Python en utilisant la commande `"import pulp"`.

**Définition du problème :** Dans cette première étape, le problème est défini en créant une instance de celui-ci à l'aide de la classe `LpProblem`. Cette étape implique de spécifier le nom du problème ainsi que s'il s'agit d'un problème de maximisation ou de minimisation..

```
prob = LpProblem("Nom_du_Problème", LpMaximize)
```

**Définition des variables de décision :** Ensuite les variables de décision sont définies en utilisant la classe `LpVariable`. Ces variables représentent les inconnues du problème et peuvent avoir des bornes spécifiées si nécessaire.

```
x = LpVariable("Nom_Variable", lowBound=0) # Variable continue positive
y = LpVariable("Nom_Variable", lowBound=0) # Variable continue positive
```

**Définition de la fonction objectif :** Dans la troisième étape, la fonction objectif est définie en utilisant l'opérateur `+=` pour l'ajouter au problème. La fonction objectif est une expression linéaire des variables de décision qui doit être maximisée ou minimisée.

```
prob += 2 * x + 3 * y
```

**Ajout des contraintes :** Dans la quatrième étape, les contraintes du problème sont ajoutées en utilisant l'opérateur `+=` pour les ajouter au problème. Les contraintes sont également des expressions linéaires des variables de décision qui doivent être respectées.

```
prob += x + 2 * y <= 10
```

**Résolution du problème :** Dans cette étape, le problème est résolu en appelant la méthode `solve()` sur l'instance du problème. Cela déclenche l'exécution du solveur pour trouver la solution optimale du problème.

```
prob.solve()
```

**Récupération des résultats :** Enfin, une fois le problème résolu, les résultats sont récupérés. Cela peut inclure l'affichage du statut de résolution, les valeurs optimales des variables de décision et la valeur optimale de la fonction objectif.

```
print("Statut:", LpStatus[prob.status])
for v in prob.variables():
    print(v.name, "=", v.varValue)
print("Valeur optimale de la fonction objectif:", value(prob.objective))
```

Pour garantir un suivi et un pilotage efficaces de l'activité et de la performance de la chaîne logistique, il est essentiel de disposer d'un outil dédié. Cet outil permet au responsable logistique de maintenir la maîtrise de son service et d'intervenir rapidement en cas de dérive, voire de prévenir les écarts avant même qu'ils ne surviennent.

Parmi les divers outils disponibles, les tableaux de bord se distinguent comme le meilleur choix, offrant une vue d'ensemble des différentes évolutions susceptibles de refléter la nature de la performance des activités logistiques. Grâce à des visualisations efficaces et pertinentes, ces tableaux de bord permettent de suivre de près les performances et de prendre des décisions éclairées.

### 4.3. Indicateurs de Performance

L'exploitation de données justes et fiables pour identifier les pistes d'amélioration nécessaires à la prospérité de l'entreprise constitue la raison principale pour laquelle les gestionnaires accordent une importance croissante aux indicateurs de performance (KPI) dans leur processus décisionnel. Afin d'atteindre plus efficacement les objectifs fixés, de plus en plus d'entreprises adoptent des stratégies de gestion visant à collecter des données mesurables permettant d'évaluer la performance de leurs opérations sous différents angles.

Dans le domaine de la logistique, le choix des indicateurs de suivi, tels que les niveaux de stock, le taux de service, la rapidité et le respect des délais de livraison, nécessite une attention particulière. Ces indicateurs doivent être sélectionnés avec soin pour qu'ils reflètent fidèlement l'évolution des objectifs du processus. La précision des indicateurs de performance choisis est évaluée selon des critères qui reposent essentiellement sur la pertinence des objectifs définis selon la méthode S.M.A.R.T.

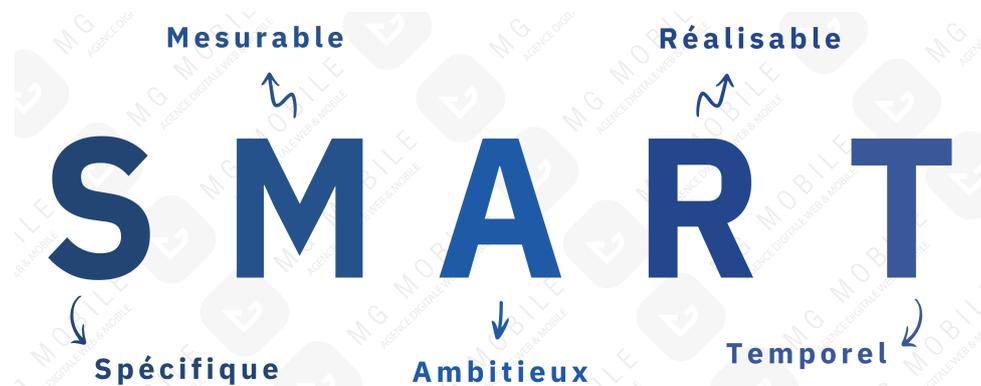


FIGURE 16 – Les critères des objectifs SMART

#### 4.4. Tableaux de Bord : Définition, Typologie et Méthodologies de Construction

Le tableau de bord est un outil de gestion qui présente de manière synthétique les activités et les résultats de l'entreprise par processus. Sous forme d'indicateurs, il permet de contrôler la réalisation des objectifs fixés et de prendre les décisions nécessaires selon une périodicité appropriée et dans un délai limité .

Il est possible de regrouper les différents tableaux de bord en trois grandes catégories, différenciées par les KPI qu'ils incluent : KPI financiers, d'activité, de rentabilité, etc. :

- **Tableau de bord stratégique (TDBS)** : Ce type de tableau de bord regroupe de manière succincte les KPI clés concernant la santé globale de l'entreprise. Il permet d'avoir une vue globale sur le fonctionnement général de l'entreprise, aidant ainsi les dirigeants à suivre les mesures de performance par rapport aux objectifs stratégiques de l'entreprise.

La mise en œuvre réussie d'un tableau de bord est complexe et nécessite un processus étape par étape. Plusieurs méthodologies existent selon les besoins de l'organisme et la nature du tableau de bord . Parmi celles-ci, on peut citer :

- **La méthode OVAR** : « Objectifs - Variables d'Action - Responsabilité », conçue par trois enseignants du groupe HEC, est un outil de pilotage. Contrairement au tableau de bord prospectif, cette méthode vise à aider les dirigeants à élaborer et déployer une stratégie à tous les niveaux, en insistant sur la cohérence entre l'ensemble des domaines.

- **La méthode de Balanced Scorecards (BSC) - Tableau de bord prospectif** : Cette approche repose sur l'idée que les paramètres de comptabilité financière utilisés traditionnellement par les entreprises pour surveiller leurs objectifs stratégiques ne suffisent pas à les maintenir sur la bonne voie. Les résultats financiers montrent ce qui s'est passé dans le passé, mais pas la direction future de l'entreprise. Le système de tableau de bord prospectif vise à fournir une vision plus complète en complétant les mesures financières par des paramètres supplémentaires qui évaluent les performances dans des domaines tels que la satisfaction des clients et l'innovation des produits.

- **La méthode GIMSI** : GIMSI est une méthode de conception de systèmes d'aide à la décision, plus précisément d'aide à la gestion avec des tableaux de bord de performance coopérative et des tableaux de bord de performance. Favorisant la coopération et le partage des connaissances, la méthode GIMSI ajoute une dimension « bottom-up » à l'approche traditionnelle « top-down ». L'implication et l'adéquation sont au cœur de cette méthode, qui se concentre sur la question essentielle :

##### Comment les décisions sont-elles réellement prises sur le terrain ?

La méthode GIMSI est structurée en quatre phases, chacune comportant plusieurs étapes marquant un seuil d'avancement du système :

- **Identification** : Cette phase analyse le contexte concurrentiel, les forces et faiblesses de l'organisation, ainsi que les axes stratégiques et les terrains d'optimisation. Elle se compose de deux étapes.
- **Conception** : Cette phase définit la démarche à suivre, centrée sur le décideur de terrain en situation. Elle se compose de cinq étapes.
- **Mise en œuvre** : Cette phase indique les outils pour déployer les solutions d'aide à la décision et détermine les technologies au service des utilisateurs sur le terrain. Elle se compose de trois étapes.
- **Amélioration permanente** : Cette phase consiste à mesurer l'efficacité du système mis en place, dans une optique d'amélioration continue.

- **Tableau de bord tactique (TDBT)** : Également appelé tableau de bord de gestion ou tableau de bord budgétaire, il regroupe généralement des KPI tels que les volumes des ventes, le carnet de commandes, les revenus, etc. Ce tableau est utilisé pour piloter le niveau de performance de la gestion de l'entreprise. Il permet d'évaluer les performances financières afin de les comparer aux prévisions et objectifs fixés au préalable. Il met également en évidence les données historiques pour dégager des tendances, prévoir les résultats et fixer des objectifs.

- **Tableau de bord opérationnel (TDBO)** : Aussi connu sous le nom de tableau de bord opérationnel, il est l'outil par excellence pour suivre et évaluer la performance des processus opérationnels de l'entreprise. Ce type de tableau de bord permet de suivre l'évolution des différents objectifs opérationnels de l'entreprise. En plus du suivi, cet outil permet d'identifier les processus internes qui fonctionnent de manière optimale ainsi que ceux qui nécessitent des améliorations.

## 4.5. Technologies de Visualisation de la Performance

- **Tableau Software** : C'est une solution informatique de la Business Intelligence qui permet de visualiser et de comprendre les données. Elle offre une gamme de produits intégrés conçus pour aider les gestionnaires à visualiser et à comprendre leurs données. Le logiciel comprend trois produits principaux : Tableau Desktop, Tableau Server et Tableau Online.

- **Microsoft Power BI** : C'est une suite d'outils d'analyse permettant d'analyser des données d'entreprise et de partager des informations via des visualisations enrichies. Les tableaux de bord personnalisables et prédéfinis unissent les métriques importantes en vues uniques et affichent les mises à jour en temps réel sur chaque appareil. Il permet de créer des rapports à l'aide d'outils intuitifs pour centraliser un processus de reporting généralement dissocié. Ces fichiers de rapport peuvent ensuite être partagés manuellement comme n'importe quel autre fichier ou chargés vers le service partagé.

Ces principales fonctionnalités peuvent être résumées à travers les points suivants :

- **Données Visuelles** : Permet de modéliser et de visualiser les données, de créer des rapports personnalisés avec des indicateurs de performance clé, d'obtenir des réponses rapides alimentées par l'IA aux questions commerciales, même si elles sont posées dans un langage conversationnel.

- **Insights à Grande Échelle** : Permet de tirer le meilleur parti des investissements en Big Data d'une entreprise en se connectant à toutes ses sources de données à l'échelle nécessaire pour analyser, partager et promouvoir des informations dans toute l'entreprise, tout en maintenant l'exactitude, la cohérence et la sécurité des données.

- **Décisions Stratégiques et Exploitable** : Permet aux utilisateurs de travailler facilement ensemble sur les mêmes données, collaborer sur des rapports et partager leurs connaissances à travers les applications Microsoft Office les plus répandues, telles que Microsoft Teams et Excel.

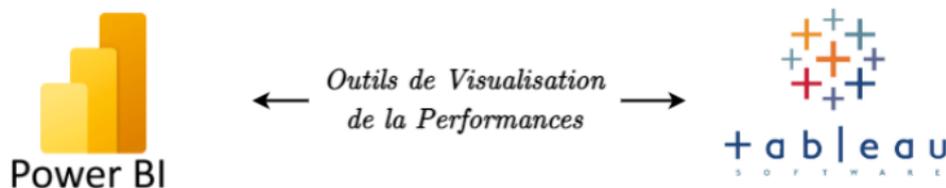


FIGURE 17 – Outil de visualisation de la performance

## Conclusion

Ce chapitre visait à introduire les concepts clés utilisés dans ce projet. Pour ce faire, nous avons tout d'abord défini plusieurs notions centrales liées à la chaîne logistique, puis nous avons passé en revue la littérature existante sur les différents modèles de prévision. Ensuite, nous avons abordé les concepts liés à la programmation, en particulier ceux concernant le stockage et l'allocation. Enfin, nous avons conclu en mettant en avant l'importance cruciale du tableau de bord dans le suivi de la performance des processus et des solutions mises en œuvre.

## CHAPITRE 3 : Solutions proposées

*“Cela semble toujours impossible... jusqu’à ce qu’on le fasse.”*

*Nelson Mandela*

# Chapitre 3

## Résolution de la problématique

Dans ce dernier chapitre, nous allons commencer par une classification bicritère ABC/FMR en utilisant une analyse de Pareto et en tenant compte le volume ainsi que la fréquence des commandes des produits afin de mieux les classer dans les zones appropriées de l'entrepôt. Ensuite, nous procéderons à une analyse XYZ pour étudier les fluctuations de la demande. Après avoir évalué les résultats, nous concevrons un outil d'aide à la décision. L'objectif de ce modèle est de déterminer les bonnes quantités à stocker tout en minimisant les coûts associés et les risques de non-satisfaction de la demande. En s'appuyant sur les résultats de ce modèle, nous développerons un modèle dynamique d'attribution des adresses qui vise à minimiser la distance entre la zone de réception et la zone de stockage des items.

La structure à suivre dans ce chapitre est synthétisée dans la figure 1.

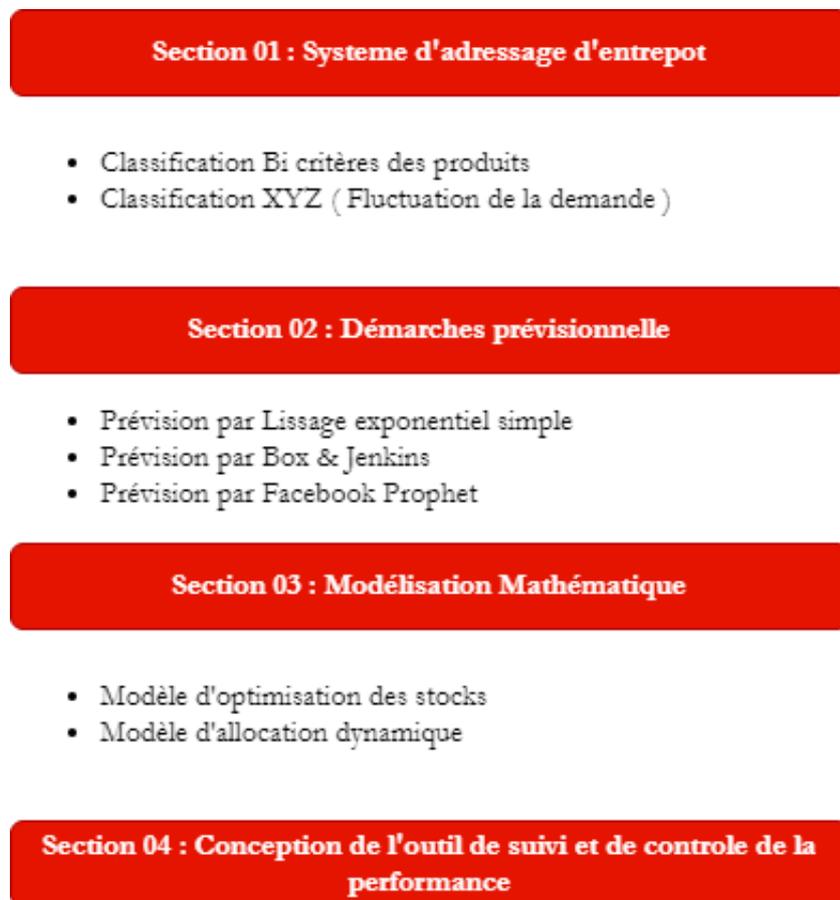


FIGURE 1 – Schéma récapitulatif de la démarche et structure du chapitre 3

# 1. Système d'Adressage d'Entrepôt

## 1.1. Classification Bi-Critère des produits

Après avoir analysé les divers segments de données fournies, nous avons décidé de nous concentrer sur l'étude des articles en fonction de leur catégorie de conditionnement, étant donné que le stockage est organisé selon des modalités spécifiques dans les entrepôts (stockage en masse des fûts au dépôt SAFAR et stockage sur racks des cartons et des bidons au dépôt HADJI). Ce choix concerne ( **275** ) articles au total, répartis comme suit : ( **151 fûts** ), ( **63 cartons** ), et ( **61 bidons** ). Afin de cibler les articles les plus influents sur les résultats de la chaîne logistique, nous avons effectué une classification bicritère basée sur le volume ( **ABC** ) et la fréquence ( **FMR** ) des commandes. Cela nous permettra d'appliquer notre système de réservation et d'adressage des produits (*Annexe I*).

Pour appliquer la méthode, il est impératif de définir les critères de classification de notre inventaire. Dans notre cas, nous avons utilisé comme critères le nombre de commandes effectuées et la quantité totale commandée au cours de l'année précédente, ainsi que les données de l'année en cours, en procédant à une extraction des données à partir du progiciel de gestion intégré (ERP) SAP de l'entreprise.

Cette approche nous permet de hiérarchiser les articles en accordant la priorité à ceux qui présentent à la fois une fréquence de commande élevée et des niveaux de stock importants. Ces articles, étant les plus sollicités, ont ainsi un impact plus significatif s'ils subissent une rupture de stock.

La classification **ABC/FMR** nous orientera vers les produits critiques, améliorant ainsi l'efficacité de la gestion des stocks tout en réduisant l'horizon de contrôle. Elle divise les stocks en catégories en fonction de leur impact, répartissant les produits comme suit :

- Classe **A** : 20 % des produits, représentant 80 % de l'impact.
- Classe **B** : 30 % des produits, représentant 15 % de l'impact.
- Classe **C** : 50 % des produits, représentant 5 % de l'impact

### Classification ABC basée sur le volume

Après avoir calculé la somme des volumes de commandes pour chaque article, nous procédons à un classement des produits par ordre décroissant. Ensuite, nous calculons le pourcentage de volume de vente pour chaque produit par rapport au total, puis le pourcentage cumulé de volume croissant. Conformément à la méthode, nous classons les pourcentages inférieurs à 80 % dans la catégorie A, ceux supérieurs à 95 % dans la catégorie C, et le reste dans la catégorie B. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.1 (*Annexe B*)

### Classification FMR basée sur fréquence des commandes

De même, et en prenant en compte le nombre de commandes sur la période 2023-2024, on obtient le tableau de classification (*Annexe C*)

### Classification MultiCritères

Pour cela, nous avons mis en place un tableau de bord dynamique (*Annexe A*) nous permettant de classer les produits à la fois selon ABC et FMR et d'obtenir une classification hybride, en prenant en considération les catégories de produits. Cette approche nous a permis d'afficher efficacement les produits dans un tableau, offrant ainsi une visualisation claire de leur importance selon ces critères combinés, nous avons également établi une matrice ABC/FMR, également connue sous le nom de Matrice décisionnelle de mise en stock, qui est présentée dans la figure 2.

### Matrice Décisionnelle ABC/FMR

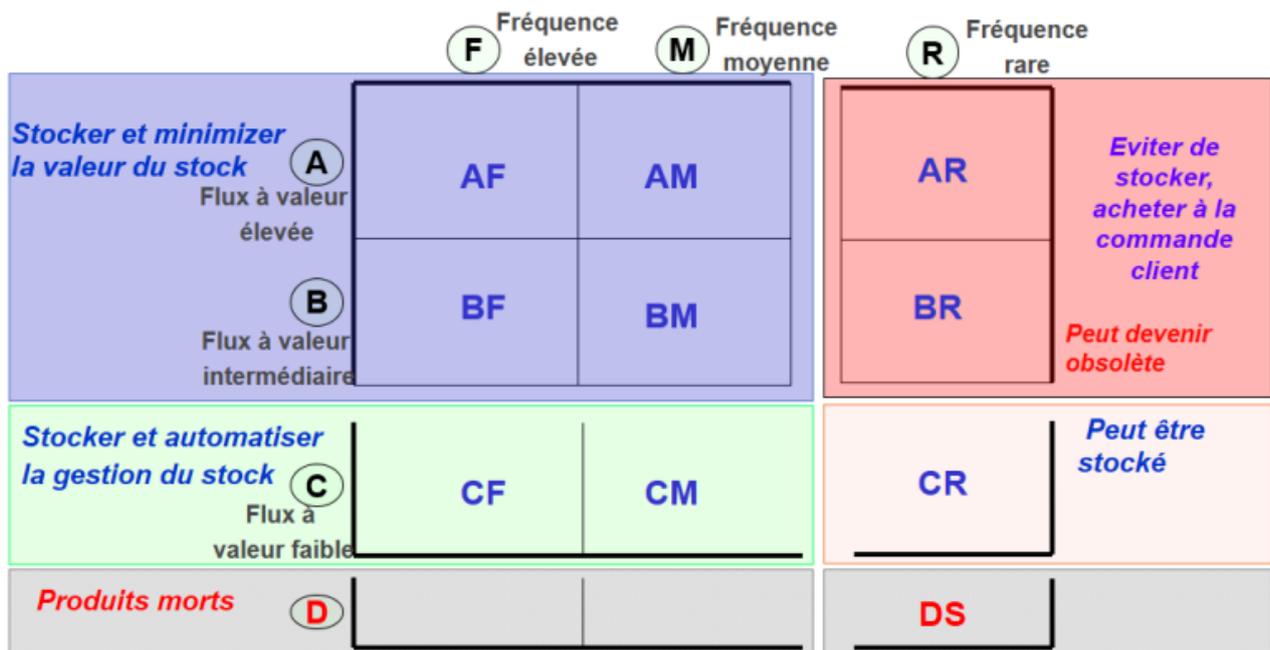


FIGURE 2 – Matrice Décisionnelle ABC/FMR

Pour les catégories AF, AM, BF et BM, les caractéristiques sont :

- Haute importance ;
- Rotation importante ;
- Gestion de stockage efficace nécessaire ;
- Réactivité rapide pour ajuster les niveaux de stock en fonction des variations de la demande ;

Les recommandations en matière de politique de stockage sont :

- Garder un œil attentif sur les paramètres de stockage et les mouvements de ces produits critiques ;
- Mettre l'accent sur ces produits en leur consacrant le temps nécessaire ;
- Mettre en place des techniques de prévision de la demande précises pour anticiper les besoins réels et éviter les ruptures de stocks ;
- Optimiser les niveaux de stock tout en maintenant un stock de sécurité pour couvrir les fluctuations imprévues de la demande.

#### Tableaux de classification multi-critères

Dans notre étude, la classification ABC / FMR multicritère a été élaborée par catégorie de produits et par dépôt. Les produits de la première catégorie, les fûts, ont été organisés par zones dans le dépôt SAFAR. Les produits de la deuxième catégorie, comprenant les cartons et les bidons, sont regroupés ensemble dans le dépôt HADJI. Les résultats de cette classification sont résumés dans les tableaux 3.1 et 3.2.

TABLE 3.1 – Classification multicritère Fûts

Classification	F	M	R	Total général
A	17	1	1	19
B	12	19	2	33
C	0	15	84	99
Total général	29	35	87	151

TABLE 3.2 – Classification multicritère Carton/Bidon

Classification	F	M	R	Total général
A	9	0	0	9
B	7	2	2	11
C	2	20	84	99
Total général	29	35	86	106

Après avoir mis en place le système d’adressage par classe et affecté chaque produit à sa zone en fonction de son impact, nous allons maintenant analyser le comportement de la demande pour ces items au sein de l’entrepôt.

## 1.2. Classification XYZ ( fluctuations de la demande )

Le choix de calculer la volatilité de la demande via le coefficient de variation (CV) est nécessaire pour optimiser la gestion des stocks. En identifiant les produits à forte volatilité, nous pouvons anticiper les fluctuations imprévisibles de la demande des produits, essentielles pour les articles à fort impact.

Comprendre cette variabilité permet de mettre en place des stratégies de réapprovisionnement et de stockage plus dynamiques et efficaces, garantissant la disponibilité des produits critiques, minimisant les coûts de gestion inadéquate des stocks et réduisant le temps de préparation des commandes. De plus, le calcul de CV nous permet de faire des prévisions plus précises de la demande, assurant une meilleure planification et une allocation optimale des ressources. Les résultats de la classification XYZ sont présentés en ( *annexe D*).

- Classe **X** :  $CV < 30\%$  : La demande est considérée comme stable.
- Classe **Y** :  $CV < 65\%$  : La demande est considérée comme modérément variable.
- Classe **Z** :  $CV \geq 65\%$  : La demande est considérée comme très variable.

Dans ce qui suit l’horizon de notre étude concerne les classes à forts impact **AF** et **BF** ainsi qu’une forte volatilité de la demande **AFZ** et **BFZ** donc sur les articles présentés en ( *annexe F*).

## 2. Démarches Prévisionnelle

Dans l’objectif de prédire la demande des items classés, nous débuterons par une analyse des graphique. Nous procéderons ensuite à une pré-sélection des méthodes statistiques à employer, à la suite des tests statistiques.

### Prévisions par les méthodes statistiques

Comme exposé dans le deuxième chapitre, les prévisions basées sur des méthodes statistiques impliquent plusieurs étapes, à la fois formelles et informelles, qui vont être déroulées dans ce qui suit.

Pour analyser notre série chronologique, qui représente le volume hebdomadaire des commandes passées par les clients de TotalEnergie Lubrifiants Algérie tout au long de l’année 2023 ainsi que pour les trois premiers mois de 2024, nous utiliserons le logiciel Eviews. Ce dernier nous permettra de réaliser divers tests afin de déterminer le type de notre série chronologique du produits (cartons) : RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L (*Annexe J*).

Les étapes incluront la détection de la tendance et de la saisonnalité, l’ajustement des données pour éliminer les effets saisonniers, et la modélisation de la série à l’aide de méthodes adaptées.

## 1. Analyse informelle de la série chronologique (Graphe)

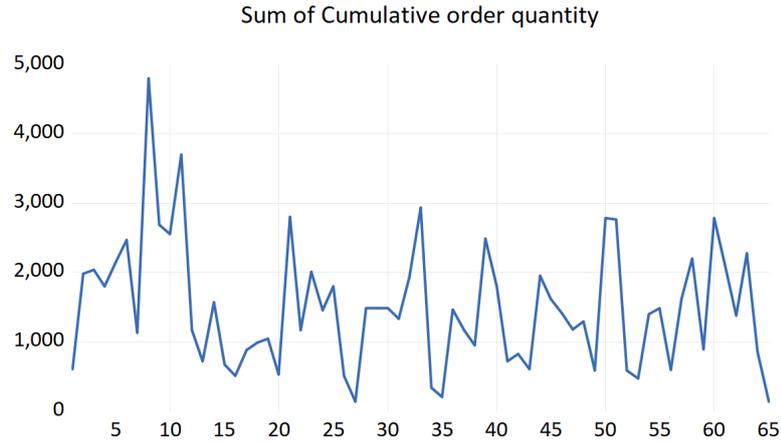


FIGURE 3 – Évolution de volumes des commandes 2023-2024

D'après la figure, il est évident que les fluctuations persistent tout au long des périodes étudiées, tandis que le graphe ne montre aucune saisonnalité. Pour valider la présence de tendances et de stationnarité, il est impératif de réaliser des tests de variance.

### 1.1. Analyse du corrélogramme de la série brute

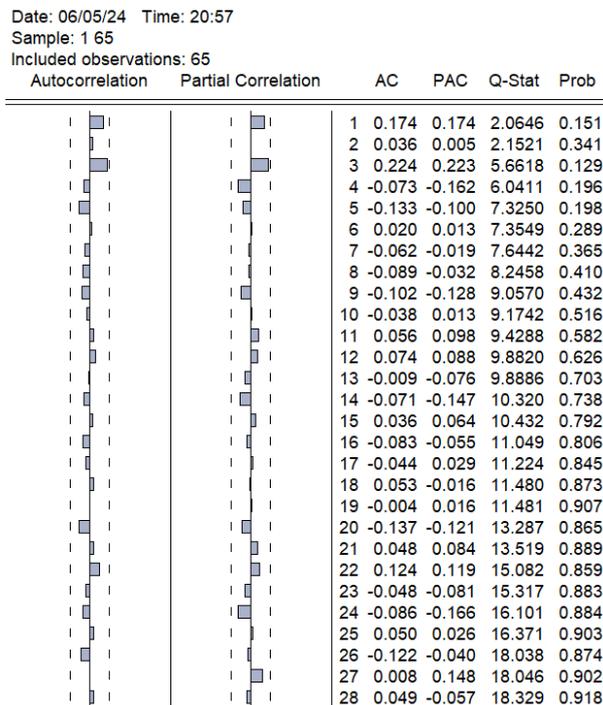


FIGURE 4 – Corrélogramme de la série brute (Eviews)

D'après le corrélogramme, il semble que la série RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L soit stationnaire, car les valeurs de l'autocorrélation AC décroissent progressivement et les valeurs d'autocorrélation ainsi que de corrélation partielle sont tous proches de zéro. Pour confirmer cette supposition, d'autres tests seront nécessaires pour analyser les caractéristiques de la série.

## 2. Analyse formelle de la série chronologique (test statistique)

### 2.1. Test de saisonnalité ( test de ficher )

Nous procédons au test d'ANOVA pour confirmer l'absence de la saisonnalité.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	936156,313	1	936156,313	1,154674329	0,286671155	3,993364924
Within Groups	51077473,75	63	810753,5516			
Total	52013630,06	64				

FIGURE 5 – Résultats Test de ficher (Utilitaire d'analyse)

Le résultat du F-test sur Excel (Utilitaire d'analyse) montre clairement que la valeur calculée **1,15** est inférieure a la valeur critique de F a 5%, égale a **3,99**. Ainsi, on accepte l'hypothèse  $H_1$  d'absence de saisonnalité et on rejette l'hypothèse alternative.

## 2.2. Test de stationnarité (test de dickey filer)

Avant de sélectionner le modèle de prévision, il est essentiel de vérifier la présence d'une tendance et d'identifier la méthode adéquate pour rendre la série stationnaire si nécessaire. Pour cela, nous employons le test de Dickey-Fuller Augmenté, connu sous le nom de test de racine unitaire. Nous débutons en estimant **le modèle [6]** sur la tendance (testant le coefficient  $b$ ).

Le test d'hypothèse est formulé comme suit :

$$\begin{cases} H_0 : b = 0 & \text{(le coefficient } b \text{ n'est pas significativement différent de 0)} \\ H_1 : b \neq 0 & \text{(le coefficient } b \text{ est significativement différent de 0)} \end{cases}$$

En fonction de la valeur de la P-Value de  $b$ , nous acceptons ou rejetons l'une des hypothèses. Si la P-Value est inférieure à 0.05, nous rejetons l'hypothèse  $H_0$  et acceptons l'hypothèse  $H_1$ , et vice-versa.

### • Test sur la tendance

Les résultats du test obtenus à l'aide du logiciel EViews sont présentés comme suit :

Augmented Dickey-Fuller					
Null Hypothesis: SUM_OF_CUMULATIVE_ORDER_QUANTITY has a unit root					
Exogenous: Constant, Linear Trend					
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=10)					
			t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-6.687214	0.0000	
Test critical values:					
	1% level		-4.107947		
	5% level		-3.481595		
	10% level		-3.168695		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.					
Augmented Dickey-Fuller Test Equation					
Dependent Variable: D(SUM_OF_CUMULATIVE_ORDER_QUANTITY)					
Method: Least Squares					
Date: 06/05/24 Time: 21:01					
Sample (adjusted): 2 65					
Included observations: 64 after adjustments					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
SUM_OF_CUMULATIVE_ORDER_QUA...	-0.844727	0.126320	-6.687214	0.0000	
C	1568.086	313.4907	5.002019	0.0000	
@TREND("1")	-8.865617	6.050972	-1.465156	0.1480	
R-squared	0.424718	Mean dependent var	-7.343750		
Adjusted R-squared	0.405856	S.D. dependent var	1149.381		
S.E. of regression	885.9509	Akaike info criterion	16.45694		
Sum squared resid	47879451	Schwarz criterion	16.55814		
Log likelihood	-523.6221	Hannan-Quinn criter.	16.49681		
F-statistic	22.51749	Durbin-Watson stat	1.957047		
Prob(F statistic)	0.000000				

FIGURE 6 – Test sur la tendance

Dans la première étape de notre étude (**le modèle [6]**), nous avons examiné l'intercept. Après avoir effectué le test de Dickey Fuller Augmenté, nous avons trouvé que **la P-Value  $\geq 0.05$** .

Cela signifie que nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle  $H_0$ , qui stipule que l'intercept n'est pas significativement différent de zéro. En d'autres termes, il n'y a pas de preuve statistique suffisante pour affirmer que l'intercept joue un rôle significatif dans le modèle.

Par conséquent, la série ne présente pas de tendance significative et nous devons explorer d'autres aspects pour déterminer la stationnarité de la série.

- **Test sur la Constante**

Les résultats du test obtenus à l'aide du logiciel EVIEWS sont présentés comme suit :

View	Proc	Object	Properties	Print	Name	Freeze	Sample	Genr	Sheet	Graph	Stats	Ident
<b>Augmented Dickey-Fuller</b>												
Null Hypothesis: SUM_OF_CUMULATIVE_ORDER_QUANTITY has a unit root												
Exogenous: Constant												
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=10)												
											t-Statistic	Prob.*
<b>Augmented Dickey-Fuller test statistic</b>											-6.489182	0.0000
Test critical values:											1% level	-3.536587
											5% level	-2.907660
											10% level	-2.591396
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.												
Augmented Dickey-Fuller Test Equation												
Dependent Variable: D(SUM_OF_CUMULATIVE_ORDER_QUANTITY)												
Method: Least Squares												
Date: 06/05/24 Time: 21:09												
Sample (adjusted): 2 65												
Included observations: 64 after adjustments												
			Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.					
			SUM_OF_CUMULATIVE_ORDER_QUA...	-0.819594	0.126302	-6.489182	0.0000					
			C	1241.653	222.5694	5.578722	0.0000					
R-squared				0.404473	Mean dependent var		-7.343750					
Adjusted R-squared				0.394868	S.D. dependent var		1149.381					
S.E. of regression				894.1062	Akaike info criterion		16.46028					
Sum squared resid				49564401	Schwarz criterion		16.52774					
Log likelihood				-524.7289	Hannan-Quinn criter.		16.48686					
F-statistic				42.10948	Durbin-Watson stat		1.939167					
Prob(F-statistic)				0.000000								

FIGURE 7 – Test sur la constante

Dans la deuxième étape de notre étude (**le modèle [5]**), nous avons examiné la constante. Après avoir effectué le test de Dickey Fuller Augmenté, nous avons trouvé que **la P-Value  $\leq 0.05$** .

Cela signifie que nous rejetons l'hypothèse  $H_0$ , qui stipule que la constante n'est pas significativement différente de zéro. En d'autres termes, il y a une preuve statistique suffisante pour affirmer que la constante joue un rôle significatif dans le modèle.

- **Test sur la racine unitaire**

En conclusion, après avoir examiné la constante et trouvé que **la P-Value  $\leq 0.05$** , nous avons également analysé la racine unitaire. Les résultats montrent que la P-Value de la racine unitaire est également inférieure à 0.05.

Cela indique que nous pouvons rejeter l'hypothèse  $H_0$ , affirmant qu'il n'existe pas une racine unitaire. Par conséquent, nous concluons que la série est stationnaire.

## 2.1. Prévision par Box and Jenkins

Puisque nous savons que la série est stationnaire, première étape en Box and Jenkins est d'estimer le modèle ARMA (p, q) . Pour cela, nous utilisons le corrélogramme de la série afin d'analyser les fonctions d'autocorrélation simple et partielle. (Voir figure 8)

En analysant le corrélogramme, nous constatons qu'il n'y a pas de pics significatifs, toutes les valeurs sont dans le zéro statistique. Afin d'être sûr des résultats, nous allons générer le modèle expert par EvIEWS grace a la fonction **Proc > Automatic ARIMA Forecasting** et faire le test de student pour vérifier sa significativité.

### Sélection modèle ARMA

Automatic ARIMA Forecasting  
 Selected dependent variable: LOG(VENTES)  
 Date: 06/08/24 Time: 21:01  
 Sample: 1/05/2023 9/26/2024  
 Included observations: 65  
 Forecast length: 0  
 Model maximums: (12,12)2(0,0)  
 Regressors: C

---

Number of estimated ARMA models: 169  
 Number of non-converged estimations: 1  
 Selected ARMA model: (0,1)(0,0)  
 AIC value: 2.20765587165

---

FIGURE 8 – Série Rubia Tir : Automatic ARIMA Forecasting (Eviews)

Une fois le modèle ARMA identifié, nous passerons aux tests de validation :

- **Test de Student**

Cette étape passe par deux types de tests, test sur les paramètres estimés et les tests de porte manteau (normalité et bruit blanc)

- **Test sur les paramètres (figure 9)**

File	Edit	Object	View	Proc	Quick	Options	Window	Help	
View	Proc	Object	Print	Name	Freeze	Estimate	Forecast	Stats	Resids
Dependent Variable: VENTE									
Method: ARMA Conditional Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)									
Date: 06/09/24 Time: 00:48									
Sample (adjusted): 1/05/2023 3/28/2024									
Included observations: 65 after adjustments									
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 17 iterations									
Coefficient covariance computed using outer product of gradients									
MA Backcast: 12/29/2022									
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.					
MA(1)	0.648281	0.094502	6.859951	0.0000					
R-squared	-1.192586	Mean dependent var	1502.554						
Adjusted R-squared	-1.192586	S.D. dependent var	901.5059						
S.E. of regression	1334.894	Akaike info criterion	17.24636						
Sum squared resid	1.14E+08	Schwarz criterion	17.27981						
Log likelihood	-559.5066	Hannan-Quinn criter.	17.25956						
Durbin-Watson stat	1.494763								
Inverted MA Roots	-0.65								

FIGURE 9 – Test sur les paramètres

D'après la figure précédente :

Pour le MA(1) :  $|t_{cal}| > (t_{ab}=1.96)$  ;

Donc : H1 est accepté , le modèle ARMA (0,1) est significatif au risque 5%.

- **Test de normalité (Jacque Berra)**

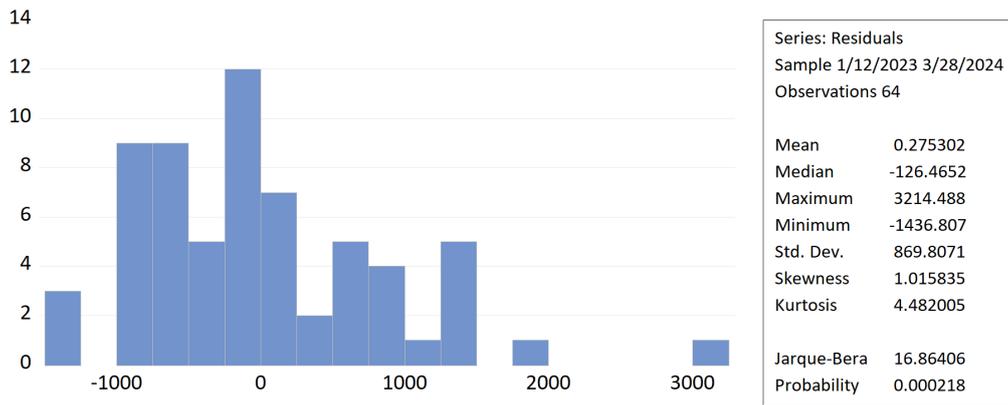


FIGURE 10 – Test de normalité

D'après les résultats du test (Probability < 0.05 ) : H1 acceptée : Normalité non validée.

- Test sur les résidus

Ce test utilise les corrélogrammes ACF et ACP des résidus (voir figure 11).

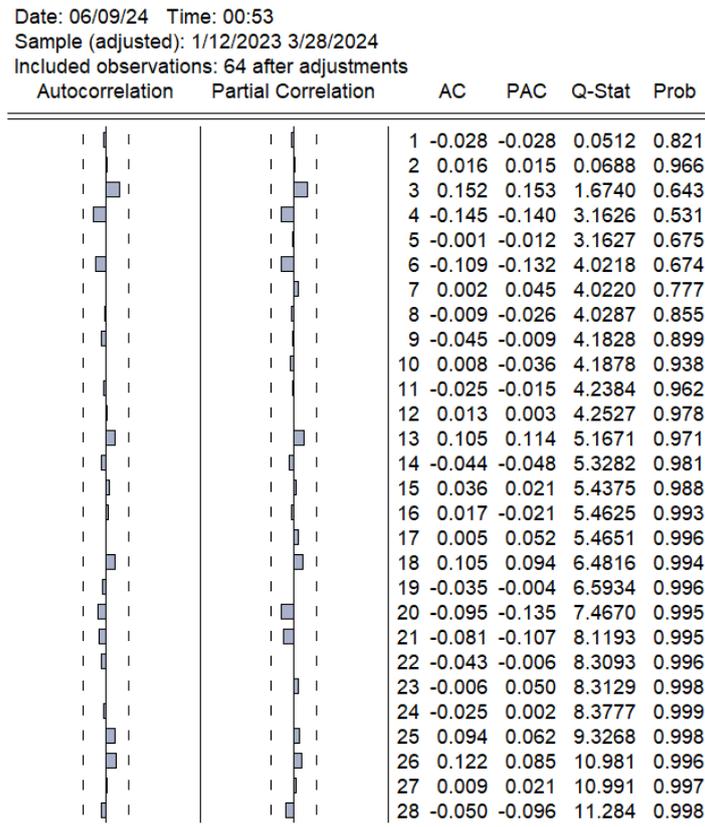


FIGURE 11 – Corrélogramme des résidus

On constate que toutes les **Prob**  $\geq 0.05$  donc, les résidus sont à bruit blanc. Les tests sur les paramètres ainsi que les résidus ont réagi positivement avec le modèle ARMA(0,1) mais le test de normalité a réagi négativement ce qui va influencer sur la fiabilité des prévisions par BJ.

La méthodologie de BJ a réagi négativement avec les données de la série chronologique de notre produits, donc nous allons évalué d'autres méthodes.

### Prévision

Sur la base de l'analyse informelle de notre série et des tests statistiques appliqués, nous constatons qu'il s'agit

d'une série temporelle stationnaire, avec une tendance non significative, non saisonnière, avec changement de structure. Par conséquent, selon le tableau en *annexe H*, on sélectionne la méthode de lissage exponentiel simple en raison des critères qu'elle remplit.

## 2.2. Prévisions par Lissage exponentiel simple

Notre objectif est de capturer les prévisions à court terme, ce qui signifie prévoir les 5 prochains mois. Pour cela, un coefficient alpha plus élevé pourrait être plus approprié dans le lissage exponentiel simple. En effet, un alpha plus élevé réduit l'influence des observations plus anciennes, permettant ainsi au modèle de réagir plus rapidement aux variations à court terme des données (voir figure 12). Cette adaptation est cruciale pour obtenir des prévisions précises et réactives sur un horizon temporel aussi proche.

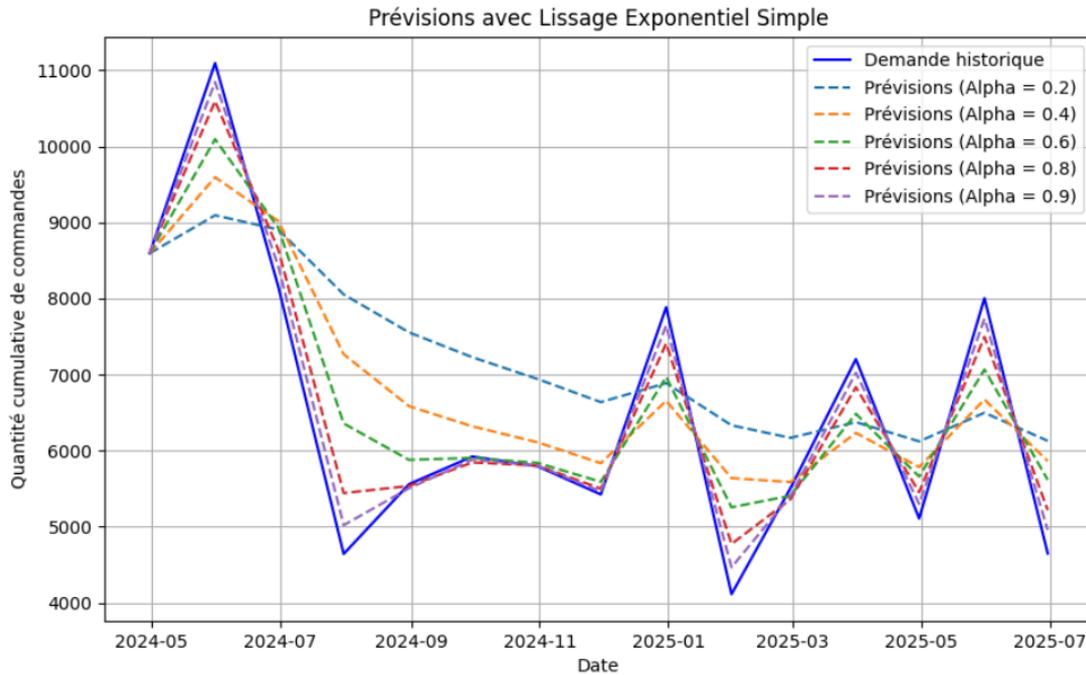


FIGURE 12 – Prévisions LES de la série RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L

Après avoir analysé les performances des coefficients, nous choisissons une valeur d'alpha égale à 0.9. Cette valeur accorde un poids élevé aux données les plus récentes, rendant ainsi le modèle très sensible aux changements récents et minimisant l'erreur de prédiction.

### Résultats de prévision LES

Les résultats de prévision du lissage exponentiel simple (LES) sont présentés en unités et en nombre de palettes, chaque palette représentant 45 unités de cartons, pour une visualisation claire uniquement.

TABLE 3.3 – Prévision LES Avril2024-Août2024

Mois	2024-04-30	2024-05-31	2024-06-30	2024-07-31	2024-08-31
<b>Demande</b>	8594	10593	8642	5443	5537
<b>Nombre de Palette</b>	191	235	192	121	123

En raison du manque de données historiques, avec seulement 15 mois de données disponibles, nous allons adopter un troisième niveau d'analyse pour évaluer la précision de nos prévisions basée sur l'apprentissage automatique pour notre série temporelle, plutôt que de nous concentrer uniquement sur des méthodes statistiques.

Cette méthode est adaptable à divers types de séries en raison de sa complexité et utilise des techniques incluant un paramètre aléatoire.

Dans la section suivante, nous présenterons les résultats des prévisions obtenues à l'aide de l'outil **Facebook Prophet**. Cet outil est hybride, combinant des modèles statistiques mathématiques avec des techniques d'apprentissage automatique pour calculer le paramètre aléatoire, en plus des paramètres classiques tels que la saisonnalité et les points de changement de structure.

## Prévision par Machine Learning

### 2.3. Prévision par Facebook Prophet

Après l'installation de la bibliothèque Prophet et l'importation des données de la série temporelle " **RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L** ", nous affichons les premières lignes pour vérifier les colonnes. Ensuite, la colonne 'ds', qui représente les dates, est convertie au format datetime. Le modèle Prophet est ensuite initialisé avec la saisonnalité annuelle et quotidienne activée, et les données sont filtrées à partir du 21 mars 2024.

Le modèle est ajusté (**Fit the model**) pour s'adapter aux données. Ensuite, un DataFrame est créé pour les dates futures avec une fréquence mensuelle pour les 6 périodes suivantes, et les prédictions sont réalisées. Enfin, le graphe des prévisions est dessiné.

Le code nécessaire pour effectuer cette opération est représentée dans la figure 13.

```
# Affichage des premières lignes pour la verification des noms de colonnes
print(data.head())

# S'assurer que la colonne 'ds' est au format datetime
data['ds'] = pd.to_datetime(data['ds'], format="%d/%m/%Y")

# Initialiser le modèle Prophet avec la saisonnalité annuelle et quotidienne activée
model = Prophet(yearly_seasonality=True, daily_seasonality=True)

# Filtrer les données à partir du 21 mars 2024
data_filtered = data[data['ds'] >= '2024-03-21']

# Nous ajustons le modèle en instanciant un nouvel objet Prophet
model.fit(data_filtered)

# Prévision mensuelle
future = model.make_future_dataframe(periods=6, freq='M')
future.tail()
forecast = model.predict(future)

# Affichage des prévisions
print(forecast[['ds', 'yhat', 'yhat_lower', 'yhat_upper']].tail())

# Dessiner le graphe des prévisions
fig1 = model.plot(forecast)
```

FIGURE 13 – Code des previsions par Facbook prophet

Le code au complet se trouve illustrés dans *l'Annexe G*.

Les résultats des prévisions sont représentées dans la figure 14 et le tableau 3.4 .

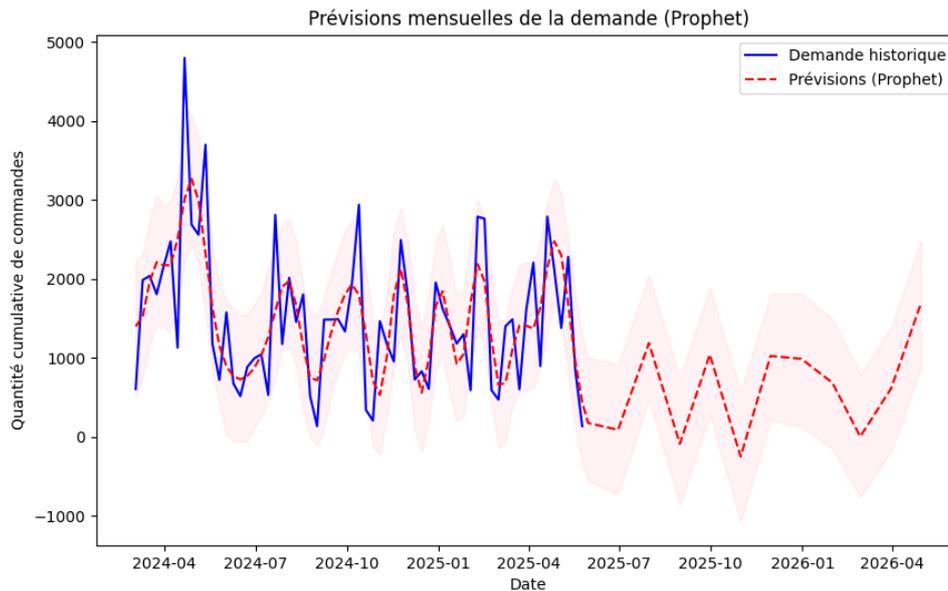


FIGURE 14 – Prédiction de la Série Temporelle avec Prophet (Capture d'écran Google Colab)

Les prévisions de demande présentent des valeurs légèrement plus élevées. Cela suggère que le modèle Prophet anticipe une augmentation de la demande dans les mois à venir.

### Résultats de prévision Facbook Prophet

TABLE 3.4 – Prédiction Facbook Prophet Avril2024-Août2024

Mois	2024-04-30	2024-05-31	2024-06-30	2024-07-31	2024-08-31
<b>Demande</b>	7082	13094	8091	3151	6653
<b>Nombre de Palette</b>	157	290	179	70	148

## 2.4. Valorisation des résultats

Après avoir traité les deux approches, à la fois statistique et en apprentissage automatique, l'objectif est d'obtenir le meilleur modèle prévisionnel, le mieux adapté à notre série chronologique et répondant à ses critères. Pour cela, nous avons évalué les performances des modèles LES et Facbook Prophet. Les résultats de cette évaluation seront présentés dans le tableau 3.5 .

### Indicateur de Fiabilité LES / Facebook Prophet

TABLE 3.5 – Indicateur de Fiabilité LES / Facebook Prophet

Indicateur de Fiabilité	LES	Facbook prophet
$R^2$ (R-squared)	0.72	0.51
<b>MAPE (Mean Absolute Percentage Error)</b>	4%	54%
<b>MAD (Mean Absolute Deviation)</b>	191	495

En considérant à la fois la valeur maximale du coefficient de détermination et la valeur minimale des indicateurs d'erreur, le modèle Lissage Exponentiel Simple est reconnu comme le plus fiable pour les prévisions de la série RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L.

Cette section clôturée a permis d'identifier la méthode optimale de prévision de la demande , établissant ainsi la base pour une gestion efficace des niveaux de stocks au centre de distribution de TELA. La mise en œuvre de cette gestion sera détaillée dans la prochaine section.

### 3. Modélisation mathématique

#### Position du problème

Suite à notre analyse du système d'adressage basée sur la classification ABC/FMR, ainsi que la fluctuation de la demande , nous avons observé que les produits des catégories AF et BF présentent une forte variabilité de la demande, avec un coefficient de variation dépassant les 65%. Étant donné que la stratégie de Total Énergie est de gagner en optimisation et de réduction des coûts, nous avons décidé de remplacer l'allocation statique et d'opter vers une allocation dynamique afin d'éviter les déséquilibres dans les niveaux de stock.

Ces déséquilibres peuvent avoir un impact sur les coûts, la satisfaction client, les performances et l'efficacité de l'entrepôt. L'attribution statique des espaces de stockage, avec des surfaces fixes pour chaque produit, ne convient pas à ces fluctuations de demande, ce qui entraîne des problèmes d'optimisation d'espace et un risque accru de rupture de stock.

En revanche, une allocation dynamique de l'espace de stockage, ajustant les espaces et les adresses en fonction des prévisions changeantes de la demande, permettrait de mieux gérer la volatilité de celle-ci et d'optimiser l'utilisation de l'espace disponible. Cela inclurait une connaissance précise des quantités à stocker aux bonnes adresses à chaque période de planification.

#### 3.1. Formulation Mathématique du Modèle d'Optimisation des Stocks

Le premier modèle d'optimisation du stocks vise à déterminer les bonnes quantités de produits à stocker pour chaque période de temps, tout en minimisant les coûts de stockage et les risques liées à la non satisfaction de la demande et en respectant les contraintes de demande, de délai de réapprovisionnement, de seuil de sécurité et de capacité de stockage.

##### Variables de Décision

- $I_{pt}$  : Quantité à stocker du produit  $p$  à la période  $t$ .

##### Paramètres

- $N$  : Nombre de périodes de planification.
- $D_{pt}$  : Demande prévue du produit  $p$  à la période  $t$ .
- $R_{pt}$  : Délai de réapprovisionnement du produit  $p$  à la période  $t$ .
- $SS_p$  : stock de sécurité du produit  $p$ .
- $C_s$  : Coût de stockage par unité de stock et par période.
- $C_p$  : Coût de pénurie par unité de stock manquant et par période.
- $C_{max}$  : Capacité maximale de stockage disponible (par unité).

##### Fonction Objectif

La fonction objectif vise à minimiser le coût total, comprenant les coûts de stockage et les coûts de pénurie :

$$\text{Min} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^N (C_s \cdot I_{pt} + C_p \cdot \max(0, D_{pt} - I_{pt}))$$

##### Contraintes

###### 1. Contrainte de Demande Prévues

$$I_{pt} \geq D_{pt} \quad \forall p, t$$

Cette contrainte garantit que le niveau de stock de chaque produit  $I_{pt}$  à la fin de chaque période  $t$  est supérieur ou égal à la demande prévue pour ce produit  $D_{pt}$  durant cette période.

## 2. Contrainte de Seuil de Sécurité

$$I_{pt} \geq D_{pt} \cdot R_{pt} + SS_p \quad \forall p, t$$

Un niveau minimal de stock doit toujours être maintenu répondre à la demande prévue, tout en tenant compte des fluctuations possibles de la demande et en évitant les ruptures de stock.

## 3. Contrainte de Capacité de Stockage

$$\sum_{p=1}^P I_{pt} \leq C_{max} \quad \forall t$$

La quantité totale de stock ne doit pas dépasser la capacité maximale de stockage disponible pour chaque période de temps.

## Formulation mathématique du modèle

Pour conclure cette partie de conception et après avoir défini les éléments structurels du modèle, sa formulation mathématique est indispensable pour la suite de la résolution.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F.O} \\ Z(\text{Min}) = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^N (C_s \cdot I_{pt} + C_p \cdot \max(0, D_{pt} - I_{pt})) \\ \mathbf{S.C} \\ I_{pt} \geq D_{pt}, \quad \forall p, t \quad (1) \\ I_{pt} \geq D_{pt} \cdot R_{pt} + SS_p, \quad \forall p, t \quad (2) \\ \sum_{p=1}^P I_{pt} \leq C_{max}, \quad \forall t \quad (3) \\ \mathbf{Avec :} \\ I_{pt} \in N \end{array} \right.$$

### 3.2. Développement du Modèle d'Optimisation du Stock

Dans notre approche de gestion des stocks, nous utilisons un modèle basé sur la programmation linéaire avec la bibliothèque **PuLP en Python**. L'objectif est de minimiser les coûts totaux associés à la gestion des stocks, en prenant en compte divers facteurs ( coût de stockage, le coût de pénurie ).

La fonction objectif est définie, visant à minimiser les coûts totaux. Pour garantir la satisfaction de la demande prévisionnelle, le respect des seuils de sécurité trimestriels ainsi que la limitation de la quantité totale de stock à la capacité maximale de stockage disponible de l'entrepôt.

Une fois le modèle défini, nous le résolvons à l'aide de la méthode **solve()**, après résolution du modèle, les résultats sont affichés, mettant en évidence la quantité à stocker de chaque item pendant chaque période.

**Le code nécessaire pour effectuer cette opération est représentée dans la figure 15.**

```

# Création du problème de minimisation
prob = pulp.LpProblem("Gestion_des_Stocks", pulp.LpMinimize)

# Variables de décision
stocks_cibles = {t: pulp.LpVariable(f"Stock_{t}", lowBound=0, cat='Continuous') for t in periodes}

# Fonction objectif
prob += pulp.lpSum(cout_stockage * stocks_cibles[t] + cout_penurie * pulp.lpSum(demande_specifiee[t] - stocks_cibles[t]) for t in periodes)

# Contraintes
for t in periodes:
    # Stock cible pour la période
    if t <= 3:
        stock_cible = demande_specifiee[t] * 1 + seuil_securite_trimestre1
    else:
        stock_cible = demande_specifiee[t] * 1 + seuil_securite_trimestre2
    prob += stocks_cibles[t] == stock_cible

# Contrainte de Capacité de Stockage
prob += pulp.lpSum(stocks_cibles[t] for t in periodes) <= capacite_max

# Résolution du problème
prob.solve()
cout_total = sum(cout_stockage * stocks_cibles[t].varValue + cout_penurie * max(0, demande_specifiee[t] - stocks_cibles[t].varValue)
                for t in periodes)

```

FIGURE 15 – Code du modèle d’optimisation du stock

### 3.3. Validation du Modèle d’Optimisation du Stock

Dans cette section, nous allons expliquer en détail les étapes suivies après la définition et la conception de notre modèle. Une fois que le modèle a été testé avec des données fictives pour évaluer la fiabilité des résultats, nous passerons à la préparation des données réelles.

Nous commençons par sélectionner les données réelles dont nous aurons besoin pour exécuter notre modèle. Cela inclut les données spécifiques au produit que nous étudions, en l’occurrence le produit de catégorie cartons"RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L ".

#### Préparation de données

En se basant sur nos différentes sources de données, nous identifions les informations essentielles requises pour notre modèle. Ces données comprennent :

- **Demande Prévue (Dpt)** : Il s’agit des quantités prévues de chaque produit à chaque période de planification. Pour notre modèle, nous utilisons des prévisions de demande établies au cours de la première partie de ce chapitre.
- **Coût unitaire de stockage (Cs)** : Ce coût représente le coût de possession d’une unité de produit en stock pendant une période de temps donnée. Il est extrait de la base de données fournie par l’entreprise.
- **Coût de pénurie (Cp)** : Ces coûts sont associés à la non-disponibilité d’un produit lorsque la demande se présente.
- **Stock de Sécurité (SSp)** : C’est la quantité de produits maintenue en stock au-dessus du niveau prévu pour faire face aux incertitudes et aux fluctuations de la demande. Il est calculé à partir des demandes prévisionnelles et sera traité dans la section suivante.
- **Délai de réapprovisionnement (Rpt)** : Dans notre programme, nous simplifions en considérant un délai de réapprovisionnement uniforme de 1 mois.
- **Capacité maximale de stockage (Cmax)** : Il s’agit de définir la limite supérieure de stockage disponible dans l’entrepôt HADJI, exprimée en unités de produits.

On regroupe les données dans le modèle et on passe à la résolution du programme. Pour commencer, nous entamons le processus en calculant le stock de sécurité trimestriel, basé sur nos prévisions de demande, afin d’atténuer les fluctuations qui se présentent dans notre série chronologique. Ensuite, nous définissons les paramètres essentiels pour notre modèle, comprenant la demande prévue pour chaque période, les seuils de sécurité trimestriels, les coûts de stockage et de pénurie, ainsi que la capacité maximale de stockage disponible. Enfin nous affichons les résultats.

Le code pour le calcul du stock de sécurité est illustré dans la figure suivante.

## Calcul du stock de sécurité trimestriel

```
0s # Demande spécifiée pour chaque mois
demande_specifiee = {1: 8594, 2: 10593, 3: 8642, 4: 5443, 5: 5537}

# Regrouper la demande par trimestre
trimestres = {
    "Trimestre 1": [demande_specifiee[1], demande_specifiee[2], demande_specifiee[3]],
    "Trimestre 2": [demande_specifiee[4], demande_specifiee[5]]
}

# Calculer la moyenne et l'écart type de la demande pour chaque trimestre
moyennes_trimestres = {trimestre: sum(demandes) / len(demandes) for trimestre, demandes in trimestres.items()}
ecarts_types_trimestres = {trimestre: (sum((demande - moyennes_trimestres[trimestre]) ** 2 for demande in demandes) / len(demandes)) ** 0.5 for trimestre, demandes in trimestres.items()}

# Niveau de service souhaité (par exemple, 95 %)
niveau_service = 0.95

# Calcul du score Z correspondant au niveau de service choisi
score_Z = norm.ppf(niveau_service)

# Calcul du stock de sécurité pour chaque trimestre
stocks_securite_trimestres = {trimestre: score_Z * ecart_type_trimestre for trimestre, ecart_type_trimestre in ecarts_types_trimestres.items()}

print("Stocks de sécurité pour chaque trimestre nécessaires:")
for trimestre, stock_securite in stocks_securite_trimestres.items():
    print(f"{trimestre}: {stock_securite}")
```

Stocks de sécurité pour chaque trimestre nécessaires:  
Trimestre 1: 1531.7372573301348  
Trimestre 2: 77.30812046671919

FIGURE 16 – Calcul du Stock de sécurité Trimestriel (Code python : Google COLAB)

## Insertion des données

```
0s import pulp

# Définition des paramètres
produit = 'RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L'
periodes = [1, 2, 3, 4, 5] # Périodes spécifiées

# Spécification de la demande pour chaque période pour le produit spécifié
demande_specifiee = {1: 8594, 2: 10593, 3: 8642, 4: 5443, 5: 5537}

# Seuils de sécurité pour chaque trimestre
seuil_securite_trimestre1 = 1532
seuil_securite_trimestre2 = 78

# Coûts et volumes (fixes pour simplifier l'exemple)
cout_stockage = 2100
cout_penurie = 1555
capacite_max = 70000
```

FIGURE 17 – Préparation des données

## Affichage des résultats

```
# Affichage des résultats
for t in periodes:
    print(f"Stock cible de {produit} pour la période {t}: {stocks_cibles[t].varValue:.2f}")

# Calcul du coût total
cout_total = sum(cout_stockage * stocks_cibles[t].varValue + cout_penurie * max(0, demande_specifiee[t] - stocks_cibles[t].varValue)
for t in periodes)

# Affichage du coût total
print("Coût total:", cout_total)
```

Stock cible de Produit1 pour la période 1: 10126.00  
Stock cible de Produit1 pour la période 2: 12125.00  
Stock cible de Produit1 pour la période 3: 10174.00  
Stock cible de Produit1 pour la période 4: 5521.00  
Stock cible de Produit1 pour la période 5: 5615.00  
Coût total: 91478100.0

FIGURE 18 – Affichage des résultats

## Les résultats d'Implementation

Le tableau 3.6 représentera le calcul trimestriel du stock de sécurité, calculé à partir de la formule :

$$SS = Z \times \sigma_{LT}$$

Dans ce calcul,  $Z$  est le score  $z$  correspondant au niveau de service cible, obtenu à partir des tables de distribution normale standard.  $\sigma_{LT}$  représente l'écart-type de la demande pendant le temps de réapprovisionnement. Pour le calcul du nombre de palette, chacune représente 45 unités de cartons.

TABLE 3.6 – Quantité de stock

Mois	2024-04-30	2024-05-31	2024-06-30	2024-07-31	2024-08-31
Stock Cible	10126	12125	10174	5521	5615
Nombre de Palette	225	269	226	123	125
Seuil de sécurité	1531	1531	1531	78	78

L'objectif fondamental de ce modèle résidait dans la maintenance d'un niveau de stock cible au sein des entrepôts, tout en évitant de dépasser leurs capacités de stockage. Actuellement, l'entrepôt HADJI est seulement rempli à 60% de sa capacité totale. Ainsi, notre priorité était de maximiser l'utilisation de l'espace de stockage disponible, tout en assurant une disponibilité constante des produits essentiels pour répondre à la demande projetée ( subir la demande) et éviter les ruptures en intégrant le calcul d'un seuil de sécurité trimestriel .

Pour y parvenir, une gestion dynamique des niveaux de stock s'est avérée nécessaire, avec des réapprovisionnements planifiés en fonction des prévisions de demande.

Il est donc impératif que notre système d'adressage soit à la fois flexible et dynamique afin de s'adapter aux fluctuations des niveaux de stock. Cette caractéristique sera examinée de manière approfondie dans le cadre du deuxième modèle.

### 3.4. Formulation Mathématique du Modèle d'Allocation Dynamique des Emplacements

Le modèle d'allocation dynamique des emplacements vise à optimiser l'utilisation de l'espace de stockage en ajustant les emplacements des produits en fonction des niveaux de stocks cibles. Voici sa formulation mathématique :

#### Paramètres

- $N$  : Nombre total de racks.
- $E_i$  : Nombre d'emplacements dans le rack  $i$ .
- $P$  : Ensemble des produits à stocker. Chaque produit  $p$  a une quantité de palette  $I_p$  et une classe  $C_p \in \{A, B, C\}$ .
- $d_{ijp}$  : Distance de déplacement du produit  $p$  de la zone de réception vers l'emplacement  $j$  du rack  $i$ .
- $C$  : Nombre total d'emplacements dans l'entrepôt

#### Variabes de Décision

$x_{ijpt} \in \{0, 1\}$  : Variable binaire qui vaut 1 si  $p$  est affecté à l'emplacement  $j$  du rack  $i$  à la période  $t$ , et 0 sinon.

#### Fonction Objectif

La fonction objectif vise à minimiser la distance déplacement de l'article de la zone de réception vers les emplacements :

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{E_i} \sum_{p \in P} d_{ijp} \times x_{ijpt}$$

#### Contraintes

### 1. Nombre d'emplacement dans l'entrepôt

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{E_i} x_{ijpt} \leq C, \forall p, t$$

On ne peut pas dépasser le nombre total d'emplacements disponibles dans l'entrepôt.

### 2. Nombre d'emplacement dans chaque racks

$$\sum_{p \in P} \sum_{j=1}^C x_{ijpt} \leq E_i, \forall i, t$$

On ne peut pas dépasser le nombre total d'emplacements disponibles dans chaque racks.

### 3. Quantités de palette à stocker par emplacement

$$\sum_{p \in P} x_{ijpt} \leq 2, \forall i, j, t$$

Le nombre de palettes à stocker dans chaque emplacement ne doit pas dépasser deux palettes.

### 4. Contrainte de Priorité des produits

$$\sum_{j=1}^{E_i} I_p \times x_{ijpt} \geq \sum_{j=1}^{E_i} I_{p'} \times x_{ijp't} \quad \text{si } I_p \geq I_{p'}, \forall p, p' \in P, t$$

Les produits ayant des quantités plus élevées sont alloués en priorité.

## Formulation mathématique du modèle

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{F.O} \\ Z(\text{Min}) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{E_i} \sum_{p \in P} d_{ijp} \times x_{ijpt} \\ \text{S.C} \\ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{E_i} x_{ijpt} \leq C, \quad \forall p, t \quad (1) \\ \sum_{p \in P} \sum_{j=1}^C x_{ijpt} \leq E_i, \quad \forall i, t \quad (2) \\ \sum_{p \in P} x_{ijpt} \leq 2, \quad \forall i, j, t \quad (3) \\ \sum_{j=1}^{E_i} I_p \times x_{ijpt} \geq \sum_{j=1}^{E_i} I_{p'} \times x_{ijp't} \quad \text{si } I_p \geq I_{p'}, \quad \forall p, p' \in P, t \quad (4) \\ \text{Avec :} \\ x_{ijpt} \in \{0, 1\} \end{array} \right.$$

### 3.5. Développement et Validation du Modèle d'Allocation Dynamique

Cet algorithme vise à gérer le stockage de produits dans l'entrepôt HADJI sur plusieurs périodes, en attribuant des emplacements de stockage en fonction de la classe du produit et de la quantité à stocker. Tout d'abord, nous avons choisi d'explorer les données de l'entrepôt des racks "HADJI".

Nous initialisons une fonction qui génère une liste d'adresses de stockage disponibles dans l'entrepôt, chaque adresse étant unique et suivant le format "**RackX-EmpY**", où X représente le numéro du rack et Y représente

le numéro de l'emplacement dans ce rack. Ensuite, l'algorithme procède à l'affectation des articles aux adresses de stockage disponibles. Pour ce faire, la fonction initialise les zones de stockage : **ZoneA**, **ZoneB** et **ZoneC**. Les articles sont classés en fonction de leur priorité et regroupés dans les zones correspondantes.

Dans chaque zone, les articles sont triés par ordre décroissant de quantité de stock cible afin de minimiser le déplacement des marchandises.

En conclusion, les produits sont assignés aux adresses disponibles en fonction de leur volume de stockage requis. La fonction détermine le nombre d'emplacements nécessaires pour chaque produit et les associe aux adresses générées, tout en vérifiant que la capacité maximale n'est pas dépassée.

Une variable binaire est utilisée pour suivre l'affectation aux adresses de stockage. Lorsqu'un produit est attribué à une adresse, la variable binaire prend la valeur 1 ; autrement, elle reste à 0. Les résultats affichent les produits, les zones de stockage attribuées et les adresses correspondantes pour chaque période.

Le code est présentée dans la figure suivante

```

1 import math
2
3 def generer_adresses(n_racks, T):
4     adresses = []
5     for rack in range(1, n_racks + 1):
6         if rack == 1:
7             emplacements_par_rack = 72 # Exception pour le premier rack
8         else:
9             emplacements_par_rack = 86 # Les autres racks ont 172 emplacements
10            contenant 2 palettes chacun
11            for emplacement in range(1, emplacements_par_rack + 1):
12                adresses.append({
13                    "adresse": f"Rack{rack}-Emp{emplacement}",
14                    "occupe": {t: 0 for t in range(1, T + 1)} # Variable
15                        binaire de d cision par p riode, initialement 0
16                })
17            return adresses
18
19 def collecter_produits():
20     produits = []
21     while True:
22         classe_produit = input("Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C)
23             ou 'fin' pour terminer : ").strip().upper()
24         if classe_produit == 'FIN':
25             break
26         quantite = int(input("Entrez la quantite stocker : "))
27         periodes = list(map(int, input("Entrez les p riodes pour le
28             stockage (ex. 1,2,3) : ").split(',')))
29
30         if classe_produit not in ['A', 'B', 'C']:
31             print("Classe de produit invalide. Veuillez entrer A, B ou C.")
32             continue
33
34         produits.append((classe_produit, quantite, periodes))
35     return produits
36
37 def affecter_produits(adresses, produits, T):
38     zones_stockage = {
39         'ZoneA': [],
40         'ZoneB': [],
41         'ZoneC': []
42     }
43
44     capacite_max_par_rack = {
45         1: 72, # 72 emplacements pour le premier rack
46     }

```

```

43 for i in range(2, 24): # Pour les racks 2 23
44     capacite_max_par_rack[i] = 86 # 86 emplacements chacun pour le
45         reste des racks
46
47 current_rack = 1 # Suivi du rack actuel
48 current_emplacement = 0 # Suivi de l'emplacement actuel dans le rack
49
50 # Trier les produits par zone et par quantite croissante
51 produits.sort(key=lambda x: (-x[1], x[0]))
52
53 for classe_produit, quantite, periodes in produits:
54     nombre_emplacements_necessaires = math.ceil(quantite / 2)
55     adresses_attribuees = []
56
57     # Selectionner la zone de stockage en fonction de la classe du
58         produit
59     zone = f'Zone{classe_produit}'
60
61     # Assignement des emplacements necessaires au produit pour chaque
62         periode
63     for periode in periodes:
64         for _ in range(nombre_emplacements_necessaires):
65             while current_emplacement >= capacite_max_par_rack[
66                 current_rack]:
67                 current_rack += 1
68                 current_emplacement = 0
69
70             if current_rack > 23:
71                 print("Plus de racks disponibles.")
72                 return zones_stockage
73
74             adresse_info = adresses.pop(0)
75             adresse_info["occupe"][periode] = 1 # Marquer l'emplacement
76                 comme occup pour la periode
77             adresses_attribuees.append(adresse_info)
78             current_emplacement += 1
79
80             zones_stockage[zone].append((f"Produit{len(zones_stockage[zone])
81                 + 1}", adresses_attribuees))
82
83     return zones_stockage
84
85 # Exemple d'utilisation
86 T = 2 # Nombre de periodes (Mois de planification)
87 n_racks = 23
88 adresses = generer_adresses(n_racks, T)
89 produits = collecter_produits()
90 zones_stockage = affecter_produits(adresses, produits, T)
91
92 # Affichage des resultats
93 for zone, produits_adresses in zones_stockage.items():
94     for produit, adresses_attribuees in produits_adresses:
95         adresses_text = ", ".join([f"{adresse['adresse']} (occup : {adresse
96             ['occupe']})" for adresse in adresses_attribuees])
97     print(f"Produit: {produit}, Zone de stockage {zone}, Quantite : {len
98         (adresses_attribuees) * 2}, Adresses: {adresses_text}")

```

## Résultats

Pour les résultats (voir figure 19), nous avons choisi de faire entrer les quantités de stock cibles des produits de type de conditionnement "Cartons" et de catégorie AF pour 2 mois successif. Les résultats des emplacements des produits pour la première période sont présentés dans le tableau 3.7 .

### Affichage des résultats

```

Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 537
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 448
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 350
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 280
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 273
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 225
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 220
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 218
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 149
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: A
Entrez la quantité à stocker: 0
Entrez les périodes pour le stockage (ex. 1,2,3): 1
Entrez la classe du produit (Zone A, B ou C) ou 'fin' pour terminer: fin
Produit: Produit 1, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 538, Adresses: Rack 1 - Emp 1 (occupe: {1:
Produit: Produit 2, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 448, Adresses: Rack 4 - Emp 26 (occupe: {1:
Produit: Produit 3, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 350, Adresses: Rack 6 - Emp 78 (occupe: {1:
Produit: Produit 4, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 280, Adresses: Rack 8 - Emp 81 (occupe: {1:
Produit: Produit 5, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 274, Adresses: Rack 10 - Emp 49 (occupe: {1
Produit: Produit 6, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 226, Adresses: Rack 12 - Emp 14 (occupe: {1
Produit: Produit 7, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 220, Adresses: Rack 13 - Emp 41 (occupe: {1
Produit: Produit 8, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 218, Adresses: Rack 14 - Emp 65 (occupe: {1
Produit: Produit 9, Zone de stockage: ZoneA, Quantité: 150, Adresses: Rack 16 - Emp 2 (occupe: {1:

```

FIGURE 19 – Résultats des adresses des produits

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats du premier mois déjà présentés.

TABLE 3.7 – Allocation adresse produits

Produits	Mois 1	Stock Cible	Zone	Adresse	Adresse
QUARTZ 7000 S 10W40	2024-04-30	537	A	Rack 1 - Emp 1	Rack 4 - Emp 25
QUARTZ 5000 15W40	2024-04-30	448	A	Rack 4 - Emp 26	Rack 6 - Emp 77
EVOL. 700 STI-S 10W40	2024-04-30	350	A	Rack 6 - Emp 78	Rack 8 - Emp 80
QUARTZ 9000 5W40	2024-04-30	280	A	Rack 8 - Emp 81	Rack 10 - Emp 48
MOTOR OIL SF 20W50	2024-04-30	273	A	Rack 10 - Emp 49	Rack 12 - Emp 13
RUBIA TIR 7400 15W40	2024-04-30	225	A	Rack 12 - Emp 14	Rack 13 - Emp 40
EVOL. 500 TS 15W40	2024-04-30	220	A	Rack 13 - Emp 41	Rack 14 - Emp 64
COOLELF AUTO SUPRA -26°C	2024-04-30	218	A	Rack 14 - Emp 65	Rack 16 - Emp 1
EVOL. 900 SXR 5W40	2024-04-30	149	A	Rack 16 - Emp 2	Rack 16 - Emp 76

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats du deuxième mois.

TABLE 3.8 – Allocation adresse produits

Produits	Mois 2	Stock Cible	Zone	Adresse	Adresse
QUARTZ 7000 S 10W40	2024-05-31	610	A	Rack1 - Emp1	Rack 4 - Emp 61
EVOL. 700 STI-S 10W40	2024-05-31	417	A	Rack 4 - Emp 62	Rack 7 - Emp 12
QUARTZ 5000 15W40	2024-05-31	320	A	Rack 7 - Emp 13	Rack 8 - Emp 86
QUARTZ 9000 5W40	2024-05-31	305	A	Rack 9 - Emp 1	Rack 10 - Emp 67
RUBIA TIR 7400 15W40	2024-05-31	269	A	Rack 10 - Emp 68	Rack 12 - Emp 30
COOLELF AUTO SUPRA -26°C	2024-05-31	260	A	Rack 12 - Emp 31	Rack 13 - Emp 74
EVOL. 500 TS 15W40	2024-05-31	254	A	Rack 13 - Emp 75	Rack 15 - Emp 29
EVOL. 900 SXR 5W40	2024-05-31	206	A	Rack 15 - Emp 30	Rack 16 - Emp 46
MOTOR OIL SF 20W50	2024-05-31	205	A	Rack 16 - Emp 47	Rack 17 - Emp 63

Ce modèle a été cruciale pour attribuer une adresse à chaque produit, permettant ainsi une meilleure visibilité sur leur emplacement et assurant une traçabilité. Pour mieux appréhender ces modèles d'optimisation de stocks et d'allocation dynamique, nous avons la possibilité de les suivre de près afin d'obtenir une vision plus claire. Cette section sera développée plus en détail dans la partie suivante.

## 4. Conception de l'outil de suivi et de contrôle de la performance

En plus des moyens et modèles proposés pour planifier et répondre à la demande, ainsi que pour atteindre l'efficacité dans l'entrepôt en optimisant les coûts et en stockant les bonnes quantités aux bonnes adresses, nous avons conçu un outil de gestion et de contrôle capable de suivre la demande prévue et les quantités des articles à stocker pour chaque période et de déterminer les adresses appropriées pour ces articles. Cet outil consiste en un tableau de bord tactique, développé en suivant une démarche appelée GIMSI, qui sera détaillée dans la section suivante.

### 4.1. Choix de la démarche de construction du tableau de bord

Pour éviter les défis liés à la complexité et pour mieux gérer les risques, la littérature examinée dans le chapitre précédent offre plusieurs approches pour développer des outils de pilotage et de suivi des performances. Parmi ces approches, certaines adoptent une perspective hiérarchique "Top-down", comme les méthodes BSC et OVAR. En revanche, la méthode GIMSI privilégie une approche "Bottom-up" en mettant en lumière la stratégie, les processus critiques, et l'importance cruciale de la prise de décision, tout en promouvant la responsabilisation, l'autonomie, et la communication entre tous les acteurs impliqués.

Le choix de la méthode GIMSI pour l'entrepôt de TotalEnergies Lubrifiants Algérie a été motivé par sa capacité à optimiser les outils de communication et de partage disponibles, favorisant ainsi l'intelligence collective au sein de l'organisation.

### 4.2. Déroulement de la méthode GIMSI

La prochaine section détaillera les 10 étapes de l'approche GIMSI, visant à élaborer un tableau de bord intégrant les indicateurs de performance les plus efficaces pour suivre la performance des processus étudiés.

## Phase d'Identification

Les étapes clés de cette première phase, qui reposent essentiellement sur l'analyse de l'environnement économique de l'organisation (**Étape 1**) et l'identification de sa structure organisationnelle (**Étape 2**), ont déjà été abordées dans le premier chapitre.

Ainsi, notre projet de conception de l'outil de pilotage concernera le Centre de Distribution de Blida et se focalisera sur le processus de planification et de stockage des cartons au sein du dépôt Hadji.

## Phase de Conception

- **La troisième étape** concerne la définition des objectifs

Un tableau de bord est un outil qui permet d'avoir une vision précise de la situation de l'entreprise et de prendre les bonnes décisions pour améliorer cette situation. Pour y parvenir, nous avons assisté à plusieurs réunions avec les personnes impliquées et réalisé un audit logistique au sein de l'entrepôt pour en tirer des indicateurs ainsi que des préoccupations et des objectifs d'amélioration.

Ainsi, en nous basant sur l'audit logistique et l'analyse déjà effectués dans le premier chapitre, qui déclinent les priorités globales et les besoins de l'entrepôt en matière de planification et de stockage, nous avons déduit les objectifs suivants :

- Estimer la bonne quantité des items à stocker.
- Garantir l'attribution des articles à leurs zones prédéfinis.
- Assurer un adressage dynamique qui permet d'attribuer les adresses en fonction du stocks cible et par période.
- Augmenter la disponibilité des articles pour répondre à la demande avec la bonne quantité et au bon moment.
- Estimation du temps de préparation de commandes après l'implémentation des solutions.

- **La quatrième étape** du processus consiste en la construction du tableau de bord. Une fois que la phase précédente est achevée, nous entamons la partie la plus captivante et technique de la méthodologie GIMSI. Cette étape implique la conception de la structure du tableau de bord, qui doit offrir une vue d'ensemble instantanée.

Ce tableau doit être organisé de manière logique, mettant en lumière les liens de cause à effet. Ainsi, il ne se limite pas à une simple compilation d'indicateurs, mais devient un outil décisionnel assurant une cohérence précise entre les indicateurs sélectionnés, reflétant la situation actuelle, et les objectifs fixés pour l'entrepôt.

### Les KPIs concernés peuvent être :

- Les indicateurs d'alerte, signalant les anomalies nécessitant une intervention immédiate.
- Les indicateurs de bilan, fournissant une évaluation de l'avancement par rapport aux objectifs et pouvant conduire à des actions correctives.
- Les indicateurs d'anticipation, permettant une réévaluation de la stratégie préalablement adoptée en mettant en œuvre des mesures préventives.

- **La cinquième étape** consiste à choisir les indicateurs de performance. Durant cette phase, nous définissons et sélectionnons les indicateurs de mesure adaptés aux activités du processus en question, choisis pour leur pertinence dans la réalisation des objectifs du Centre de distribution de TELA. Cette étape est critique car elle nécessite un tri sélectif pour ne retenir que les indicateurs les plus significatifs. Pour ce faire, nous évaluons les KPIs sélectionnés selon les critères définis par la méthode GIMSI :

- **Mesure l'objectif** : Il mesure la performance selon un ou plusieurs objectifs préalablement définis dans l'étape précédente.
- **Implique l'action** : un indicateur a pour objectif d'inciter quelque part l'utilisateur a prendre des décisions et réagir face a l'information portée.
- **Temps réel** : le TDB ne présentera que des indicateurs qui sont adaptes aux changements instantanés favorisant la prise de décision.
- **Réalisable** : Il va falloir construire le KPI avec les données disponibles dans le système d'information de l'entreprise.
- **Fiable** : Un décideur n'utilise jamais un indicateur que dans la mesure ou il le juge fiable, il doit avoir donc accorder une confiance totale a son TDB.

- **Présentable** : Le KPI doit être facilement représenté, de manière à ce que le sens porte soit compris le mieux possible.

Nous avons retenu les visualisations graphiques suivantes :

- Un histogramme empilé représentant les quantités de stock cible par article sur une période de deux mois.
- Un graphique en courbes montrant la demande pour chaque groupe durant cette période.
- Une carte indiquant l'emplacement et l'adresse de chaque produit selon le stock cible pour chaque période.
- Un graphique en anneau présentant la classification ABC des produits, ainsi que des segments définis pour la classification FMR/XYZ des produits.

**L'étape 6 concerne la collecte de données**, Les indicateurs sélectionnés sont conçus à partir de rapports Excel qui présentent l'objet du modèle mathématique développé, ainsi que d'autres données issues de la classification déjà effectuée.

**L'étape 7 concerne l'explication du système de tableau de bord**, Le tableau de bord créé vise à rassembler et visualiser les différentes données liées à la planification, au stockage des articles, et à leur suivi afin de faciliter la prise de décision. Pour déterminer la fréquence de mise à jour de ce tableau de bord, nous avons opté pour une fréquence mensuelle de 2 mois. Voici des exemples où l'utilisation du tableau de bord permet d'anticiper certaines situations :

- Un diagramme à barres empilées représente les quantités de stock cible par produit et par période selon le seuil de sécurité trimestriel.
- Un graphique à courbes présente l'évolution de la demande pour chaque produit. Grâce à ce visuel, le décideur peut constater l'écart en quantité entre la demande et le stock disponible, permettant ainsi de planifier les décisions de lancement de nouvelles commandes en fonction des capacités de l'usine de blending.
- Une carte sert d'outil pour détecter dynamiquement l'emplacement des adresses en fonction des périodes ainsi que les stocks cibles pour une meilleure visibilité.

### La phase de mise en œuvre

- **L'étape 8 est le choix des progiciels et outils** Pour cette étape, nous avons décidé d'opter pour le développement du tableau de bord sur Power BI. Cette décision s'est fondée sur sa capacité à fournir des interfaces visuelles interactives, personnalisées, simples et faciles à interpréter, sans nécessiter de compétences spécifiques. De plus, Power BI offre la possibilité de se connecter à plusieurs sources de données, de gérer des volumétries importantes liées au Big Data, et nous avons accès gratuitement à l'application de bureau Power BI Desktop, que nous maîtrisons parfaitement.

- **L'Étape 9 est l'intégration et déploiement Le choix de Power BI .**

### La phase de suivi permanent

- **L'étape 10 est l'Audit du système**, Les stratégies évoluent, l'organisation se transforme et les décideurs acquièrent de l'expérience, ce qui entraîne souvent une baisse prévisible de la pertinence des indicateurs de mesure. Cette diminution peut signaler un écart entre les informations fournies par l'indicateur et la réalité sur le terrain. Il est donc crucial d'effectuer des audits réguliers afin de garantir un alignement continu et une cohérence avec les nouveaux objectifs de l'entreprise.

## 4.3. Interface du tableau de bord

Voici l'interface du tableau de bord Power BI créé en utilisant les données du 3 premiers mois 2024 :

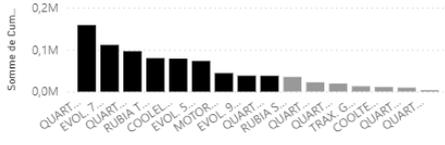
## Système d'Adressage

Somme de Volume des ventes (unité) par Classification ABC



Classification: F, M, R  
 Classification: X, Y, Z  
 Condition: Bidon, Carton, FUT  
 Année: 2023, 2024

Somme de Cumulative order quantity par Produits Description



Processus	Pourcentage du temps total
Réception	14.47%
Chargement	24.11%
Préparation de commande (Réduction 40%)	40.43%
Préparation de commande (Réduction 25%)	45.90%
Préparation de commande (Initial)	53.10%
Mise en stock	8.32%

## Allocation Dynamique

Rack1-Emp1 jusqu'à Rack2-Emp161  
5<sup>ème</sup> Emplacement

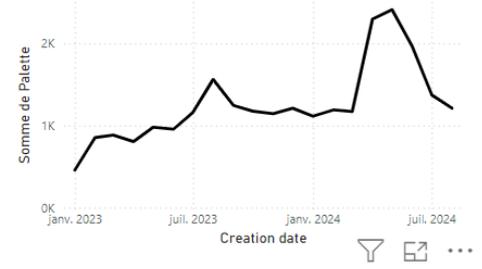
COOLELF AUTO SUPRA -26°C  
3BSL TOT 1DZ

Premier Mat.Description

# 30,56K

Somme de Stock Cible

## Demande prévisionnelle



## Stock Cible par Mat.Description



FIGURE 20 – Interface du tableau de bord

## Conclusion

Dans cette section, nous avons proposé une approche en deux volets pour TotalEnergies, axée sur l'optimisation de ses opérations logistiques et la gestion efficace de sa planification de la demande, tout en assurant une surveillance précise des niveaux de stock afin de respecter les capacités de son entrepôt.

Le premier volet a été dédié à la mise en place d'un outil de prévision de la demande reposant sur une gamme de techniques telles que le lissage exponentiel simple, la méthode Box Jenkins et les techniques d'apprentissage automatique. L'objectif principal était d'améliorer la visibilité sur les tendances de la demande, permettant ainsi à TotalEnergies de mieux anticiper ses besoins futurs.

La deuxième partie de notre solution a consisté en la conception et l'implémentation d'un outil d'aide à la décision opérationnel. Cet outil a été conçu pour minimiser les coûts tout déterminant la bonne quantité à stocker par période ainsi que par produits. Pour les articles à variabilité élevée, nous avons développé un modèle permettant une allocation dynamique des adresses de stockage, facilitant ainsi les processus de préparation de commandes et de mise en stocks.

En complément, nous avons mis en place un tableau de bord dynamique pour suivre les performances de notre solution ainsi que d'autres indicateurs clés liés aux opérations de planification et de stockage. Ce tableau de bord vise à offrir une visibilité en temps réel sur l'efficacité du processus de stockage, permettant ainsi à TotalEnergies de prendre des décisions éclairées pour optimiser ses opérations logistiques.

# Conclusion Générale

*“ Le présent n'est pas un passé en puissance. Il est le moment du choix et de l'action.”*

*Simone de Beauvoir*

# Conclusion Générale

Le secteur des lubrifiants est une industrie exigeante et complexe, où les fluctuations de la demande imposent aux entreprises d'adopter des stratégies efficaces pour la gestion des stocks et la planification des approvisionnements. En effet, dans ce domaine, les variations saisonnières, les évolutions technologiques et les fluctuations économiques peuvent entraîner des variations importantes dans les besoins des clients. Par conséquent, il est essentiel pour les entreprises de maintenir un équilibre délicat entre l'offre et la demande afin de répondre aux besoins du marché tout en minimisant les coûts.

Une gestion efficace des stocks permet aux entreprises de maintenir des niveaux optimaux de produits disponibles pour répondre à la demande des clients. Cela implique de surveiller de près les tendances du marché, de prévoir les besoins futurs et de planifier les approvisionnements en conséquence. En adoptant une approche proactive, les entreprises peuvent éviter les pénuries de produits, les surstocks coûteux et les retards dans la livraison des commandes, ce qui peut avoir un impact négatif sur la satisfaction des clients et sur la rentabilité globale de l'entreprise.

Dans le cadre de notre projet chez Total Énergie Lubrifiant Algérie, nous avons structuré notre démarche de manière méthodique. Tout d'abord, nous avons mis en place un système d'adressage basé sur une classification ABC/FMR, en utilisant une analyse de Pareto pour hiérarchiser les produits en fonction de leur volume et de leur fréquence de commande. Cette méthode a permis de placer les articles dans les zones appropriées de l'entrepôt.

Ensuite, nous avons évalué la variabilité de la demande en appliquant une classification XYZ, ce qui nous a permis de mieux comprendre les fluctuations. Par la suite, nous avons développé un outil statistique de prévision, spécifiquement pour les produits des classes AF et BF, considérés comme volatils et importants. Cet outil nous a offert une visibilité sur la demande pour les cinq mois à venir.

Enfin, nous avons conçu un outil d'aide à la décision pour la gestion des stocks, intégrant les prévisions obtenues et garantissant une bonne gestion des stocks en tenant compte des contraintes de capacité et des évolutions de la demande. Nous avons mis en place une approche en deux étapes pour optimiser les processus.

Dans la première étape, nous nous sommes concentrés sur l'optimisation des stocks, déterminant les quantités de produits à stocker pour chaque période en tenant compte des contraintes de demande, des délais de réapprovisionnement, des seuils de sécurité et de la capacité de stockage, tout en minimisant les coûts associés.

Dans la deuxième étape, nous avons opté pour une allocation dynamique des emplacements, en minimisant les coûts de déplacement tout en respectant les contraintes de capacité de stockage et de priorité des produits.

Enfin, nous avons évalué la performance de nos outils en termes d'amélioration de la gestion des stocks, constatant une amélioration significative dans le processus de préparation de commande.

Bien que notre projet ait permis d'améliorer significativement la gestion des stocks chez Total Énergie Lubrifiant Algérie, plusieurs limites méritent d'être soulignées. La qualité de nos prévisions dépend largement de la précision et de la disponibilité des données historiques. Pour le modèle d'optimisation des stocks, il ne prend en compte que l'environnement interne de l'entrepôt et ignore les facteurs externes, comme les transferts de l'usine de blending.

Nous proposons donc d'adopter un autre modèle basé sur le calcul de la quantité optimale à commander. En termes de traçabilité, notre modèle d'allocation dynamique ne permet pas de suivre directement la position des produits en temps réel, mais seulement de fixer leur emplacement au début de chaque période.

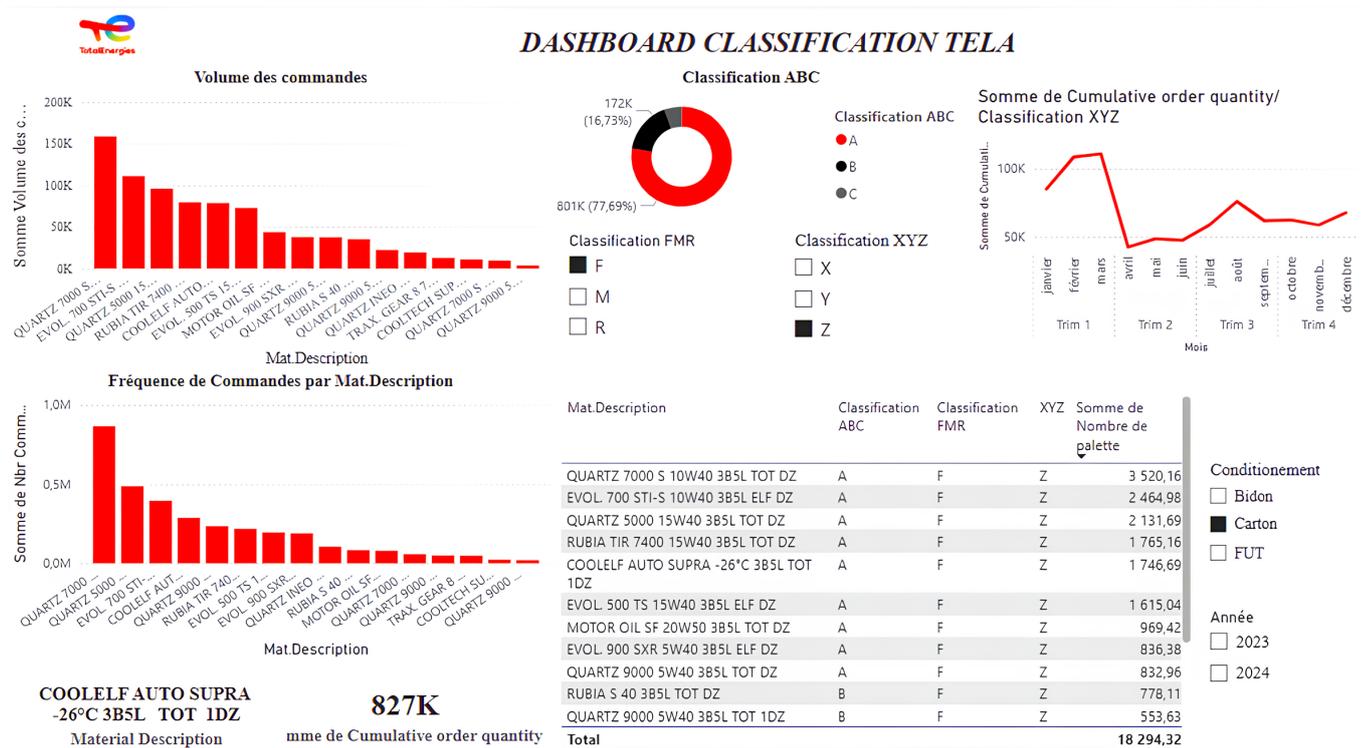
Pour les perspectives d'amélioration en termes de traçabilité, nous proposons d'étiqueter les produits avec des

codes-barres ou, pour aller plus loin, d'implémenter des puces RFID. Une autre piste de développement clé est l'intégration d'un système de gestion d'entrepôt (WMS). Mettre en place un WMS permettrait d'automatiser et d'optimiser la gestion des stocks et des approvisionnements. Un WMS offre des fonctionnalités avancées pour la gestion des emplacements de stockage, la traçabilité des produits et la planification des réapprovisionnements en temps réel. Cela améliorerait non seulement l'efficacité opérationnelle, mais aussi la précision des prévisions et la réactivité face aux variations de la demande.

En conclusion, notre projet de fin d'études, mené au sein de l'entrepôt central de distribution de TELA, s'est aligné avec les objectifs stratégiques de TotalEnergies Algérie, notamment « Gagner en Optimisation ». Grâce à notre approche proposée, nous avons réorganisé les dépôts, optimisé la gestion des stocks et des coûts, et assuré une allocation dynamique des produits aux emplacements appropriés. Ces améliorations ont également eu un impact positif sur la productivité des employés, notamment les caristes, en réduisant leurs déplacements. Ainsi, nous avons atteint notre objectif initial d'améliorer l'efficacité de l'entrepôt, tel que défini lors de notre Audit Logistique.

# Annexes

## Annexe A : Dashboard Classification des produits



## Annexe B : Classification ABC des produits

- **Classe A** : 20 % des produits, représentant 80 % du volume total de commandes.
- **Classe B** : 30 % des produits, représentant 15 % du volume total de commandes.
- **Classe C** : 50 % des produits, représentant 5 % du volume total de commandes.

## Tableau Classification ABC Fûts

TABLE 3.9 – Classification ABC Fûts

N°Ligne	Désignation Produits	Volume Com- mande (Unité)	Pourcentage % Volume Com- mande	Pourcentage % Volume Com- mande Cumulée	Classe ABC Volume
1	RUBIA TIR 7400 15W40 200L TOT DZ	19777	18,25%	18,25%	A
2	RUBIA TIR 7400 15W40 205L TOT DZ	14720	13,59%	31,84%	A
...	...	...	...	...	...
20	QUARTZ 7000 S 10W40 205L TOT DZ	1152	1,06%	79,58%	A
21	CARTER EP 320 200L TOT DZ	1050	0,97%	80,55%	B
...	...	...	...	...	...
53	MOTRIO 15W40 205L REN DZ	204	0,19%	94,87%	B
54	CARTER EP 150 205L TOT DZ	196	0,18%	95,06%	C
...	...	...	...	...	...
151	TRAX. GEAR 7 80W85 208L TOT C	1	0,001%	100%	C

## Tableau Classification ABC Carton-Bidon

TABLE 3.11 – Classification ABC Carton-Bidon

N°Ligne	Désignation Produits	Volume Com-mande (Unité)	Pourcentage % Volume Com-mande	Pourcentage % Volume Com-mande Cumulée	Classe ABC Volume
1	QUARTZ 7000 S 10W40 3B5L TOT DZ	158407	17,17%	17,17%	A
...	...	...	...	...	...
20	QUARTZ 9000 5W40 3B5L TOT DZ	37483	4,06%	77,46%	A
21	RUBIA S 40 3B5L TOT DZ	35015	3,80%	81,26%	B
...	...	...	...	...	...
53	QUARTZ INEO C3 5W40 3B5L TOT C1	9930	1,08%	94,36%	B
54	QUARTZ 7000 S 10W40 12B1L TOT DZ	9433	1,02%	95,38%	C
...	...	...	...	...	...
151	QUARTZ 7000 10W40 (SN) 18B1L TOT C	1	0,001%	100%	C

## Annexe C :Classification FMR (Fréquent, Medium, Rare)

- **Classe F** : 20 % des produits, représentant 80 % du nombre total de commandes (plus d'une prise ou d'une commande par semaine).
- **Classe M** : 30 % des produits, représentant 15 % du nombre total des commandes (de plus d'un prélèvement ou d'une commande par mois).
- **Classe R** : 50 % des produits, représentant 15 % du nombre total des commandes (moins d'un prélèvement ou d'une commande par mois)

## Tableau Classification FMR Fûts

TABLE 3.13 – Classification FMR Fûts

N°Ligne	Désignation Produits	Nombre de commande	Pourcentage % de nombre de commande	Pourcentage % de NC cumulée	Classe FMR fréquence
1	RUBIA TIR 7400 15W40 200L TOT DZ	817	9,43%	9,43%	F
...	...	...	...	...	...
20	AZOLLA ZS 32 200L TOT DZ	76	0,88%	79,69%	F
21	TRANS. GEAR 8 75W80 208L TOT C	68	0,78%	80,48%	M
...	...	...	...	...	...
53	CARTER EP 460 205L TOT DZ	20	0,23%	95,07%	R
...	...	...	...	...	...
151	TRAX. GEAR 7 80W85 208L TOT C	1	0,001%	100%	R

## Tableau Classification FMR Carton-Bidon

TABLE 3.15 – Classification FMR Carton-Bidon

N°Ligne	Désignation Produits	Nombre de commande	Pourcentage % de nombre de commande	Pourcentage % de NC cumulée	Classe FMR fréquence
1	QUARTZ 7000 S 10W40 3B5L TOT DZ	930	10,75%	10,75%	F
...	...	...	...	...	...
20	QUARTZ 5000 15W40 12B1L TOT DZ	138	1,59%	80,93%	M
...	...	...	...	...	...
53	HBF 4 16B05L TOT C	28	0,32%	95,07%	R
...	...	...	...	...	...
151	NEVASTANE HD2T 50K+L TOT C	1	0,001%	100%	R

## Annexe D : Classification XYZ

### Tableau Classification XYZ Fûts

TABLE 3.17 – Classification XYZ Fûts

N°Ligne	Désignation Produits	Moyenne des Volumes annuel $\mu$	Écart type des Volumes annuel $\sigma$	Coefficient de variation $CV = \frac{\sigma}{\mu}$	Classe XYZ
1	AZOLLA ZS 32 200L TOT DZ	12,16	20,86	171,55%	Z
...	...	...	...	...	...
20	CARTER EP 680 205 L TOT DZ	18	2	11,11%	X
...	...	...	...	...	...
53	CARTER SH 150 208 L TOT C	2,67	1,11	41,57%	Y

## Annexe E : Classification Hybride ABC/FMR

- **Classe AF** : 80 % des quantités commandées et 80 % du nombre de commandes.
- **Classe AM** : 80 % des quantités commandées et 15 % du nombre de commandes.
- **Classe AR** : 80 % des quantités commandées et 5 % du nombre de commandes.
- **Classe BF** : 15 % des quantités commandées et 80 % du nombre de commandes.
- **Classe BM** : 15 % des quantités commandées et 15 % du nombre de commandes.
- **Classe BR** : 15 % des quantités commandées et 5 % du nombre de commandes.
- **Classe CF** : 5 % des quantités commandées et 80 % du nombre de commandes.
- **Classe CM** : 5 % des quantités commandées et 15 % du nombre de commandes.
- **Classe CR** : 5 % des quantités commandées et 5 % du nombre de commandes.

## Tableau Classification Hybride ABC/FMR Fûts

TABLE 3.19 – Classification Hybride ABC/FMR Fûts

Classe	Produits Désignations
AF	<p>QUARTZ 7000 S 10W40 205L TOT DZ</p> <p>QUARTZ 5000 15W40 205L TOT DZ</p> <p>RUBIA S 10W 200L TOT DZ</p> <p>RUBIA FLEET HD 400 15W40 200L TOT DZ</p> <p>RUBIA TIR 7400 15W40 205L TOT DZ</p> <p>QUARTZ 5000 15W40 200L TOT DZ</p> <p>RUBIA S 40 205L TOT DZ</p> <p>AZOLLA ZS 46 200L TOT DZ</p> <p>RUBIA S 40 200L TOT DZ</p> <p>COOLELF AUTO SUPRA -26°C 208L TOT DZ</p> <p>MULTIS EP 2 180K TOT C</p> <p>TRANSTEC 5 80W90 200L TOT DZ</p> <p>AZOLLA ZS 68 205L TOT DZ</p> <p>RUBIA TIR 7400 15W40 200L TOT DZ</p> <p>AZOLLA ZS 46 205L TOT DZ</p> <p>COOLELF AUTO SUPRA -26°C 200L TOT DZ</p> <p>AZOLLA ZS 68 200L TOT DZ</p>
BF	<p>AZOLLA ZS 32 200L TOT DZ</p> <p>CARTER EP 220 200L TOT DZ</p> <p>CARTER EP 320 200L TOT DZ</p> <p>FLUIDMATIC DIII MV 200L TOT DZ</p> <p>QUARTZ 7000 S 10W40 200L TOT DZ</p> <p>QUARTZ 9000 5W40 200L TOT DZ</p> <p>QUARTZ 9000 5W40 205L TOT DZ</p> <p>QUARTZ INEO MDC 5W30 200L TOT DZ</p> <p>RUBIA S 10W 205L TOT DZ</p> <p>RUBIA TIR 8600 10W40 205L TOT DZ</p> <p>TRANSTEC 5 80W90 205L TOT DZ</p> <p>TRANSTEC 5 85W140 205L TOT DZ</p>

# Tableau Classification Hybride ABC/FMR Cartons/Bidons

TABLE 3.21 – Classification Hybride ABC/FMR Cartons

Classe	Produits Désignations
AF	QUARTZ 7000 S 10W40 3B5L TOT DZ
	QUARTZ 5000 15W40 3B5L TOT DZ
	RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L TOT DZ
	COOLELF AUTO SUPRA -26°C 3B5L TOT 1DZ
	EVOL. 500 TS 15W40 3B5L ELF DZ
	MOTOR OIL SF 20W50 3B5L TOT DZ
	EVOL. 900 SXR 5W40 3B5L ELF DZ
QUARTZ 9000 5W40 3B5L TOT DZ	
BF	RUBIA S 40 3B5L TOT DZ
	QUARTZ 9000 5W40 3B5L TOT 1DZ
	QUARTZ INEO MDC 5W30 3B5L TOT DZ
	COOLTECH SUPER (-2°C) 3B5L TOT DZ
	TRAX. GEAR 8 75W80 12B1L TOT AE

## Annexe F : Étape de Réalisation Audit Logistique DALOGUEWAY

### Indicateurs de performance Dépôts TELA QCD

Description	Quality				Delivery				Cost					
	Respect F150 (N)	Taux de non conformité / Taux de retour	Qualité	Taux de saut	Temps de livraison	Temps de traitement	Temps de transit	Temps de service	On-Time Loading	On-Time Delivery	Transportation (empilage)	Taux de retour	Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)	Workshop efficiency (niveau base)
<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>	<p>Respect F150 (N)</p> <p>Taux de non conformité / Taux de retour</p> <p>Qualité</p> <p>Taux de saut</p> <p>Temps de livraison</p> <p>Temps de traitement</p> <p>Temps de transit</p> <p>Temps de service</p> <p>On-Time Loading</p> <p>On-Time Delivery</p> <p>Transportation (empilage)</p> <p>Taux de retour</p> <p>Total productivity ratio (niveau base/prix/poids/taux retour)</p> <p>Workshop efficiency (niveau base)</p>

FIGURE 21 – Indicateurs de performance Dépôts TELA

# Système de notation KPI

		Quality					Delivery				
TotalEnergies		Respect FEFO (%)	Taux de non conformité ; * Perse de collage et d'autres défauts *	Traceability MANDATORY	Taux de zoning MANDATORY	Nombre d'objets visibles au sol par 1000 m <sup>2</sup> (Bois, clous, fils, filigranes de produits endommagés...)	Taux de réclamation liés à la logistique	Taux de retours	Taux de service (only Logistic Operator Losses) MANDATORY	On Time Loading (OTL) MANDATORY	On time delivery MANDATORY
0	Beginner	Pas de procédures d'application de FEFO, Pas de calcul, Stockage et détachage anarchique	Aucun suivi des parts et des produits non conformes,	Traceability control in the WH is not included in the WMS (not fully automatic control)	Aucun suivi systématique ou contrôle de respect zoning. Aucune procédure ou outil défini pour vérifier le zoning des produits.	Not measured or >= 20	Aucun suivi ou enregistrement systématique des réclamations liées à la logistique. Aucun processus établi pour traiter ou résoudre les	Aucun suivi systématique des retours, les procédures de gestion restent à établir. Aucune méthodologie définie pour	Not measured monthly	Pas de suivi du temps de chargement par rapport à l'objectif / absence d'accord sur les horaires avec les transporteurs	Not measured on
1	Junior	Utilisation d'une méthode initiative par les caristes non standardisée	Observation visuelle des produits, inspection des documents d'accompagnement, Contrôle quantitatif Signalement des anomalies et non conformités à son supérieur.	Traceability control in the WH is included in the WMS, but no periodic controls are performed	Un suivi est en place. Des vérifications périodiques sont effectuées, mais il n'y a pas de procédures structurées pour stocker les produits dans des zones dédiées.	< 20	Suivi des réclamations mise en place, mais le processus n'est pas entièrement standard. Les réclamations sont traitées en cas, sans procédure standardisée.	Mise en place d'un suivi de base. Les retours sont enregistrés, bien que sans protocole standardisé pour les traiter.	Measured monthly and < 99%	Tous les chargements sont suivis par rapport aux rendez-vous, avec une tolérance de retard de 30 minutes.	Measured and <
2	Senior	Application d'une méthode de vérification fiable, et standard des produits cible en terme de dates - Calcul de FEFO	Junior - Calcul du Taux de non conformité	Junior - there is a clear and well known procedure at company level if a quality incident with product in the market happened (key contacts per function, decision taking responsibilities, gather information of DCs, customer communication channels). Some controls are performed from time to time.	Junior - Existence d'une fiche de contrôle claire et bien connue au niveau de l'entrepôt pour les objets qui sont en sol (Clous-éclouilles) et l'état de contrôle pour voir s'ils respectent le zoning.	< 15	Suivi standard et fiable des réclamations liées à la logistique. Un processus structuré est en place pour traiter les réclamations, avec des actions correctives sont prises en fonction des réclamations.	Suivi standard et fiable des retours clients liées à la logistique. Un processus structuré est en place pour traiter les traiter, avec des actions correctives.	> 99%	Junior - Il y a une analyse des causes profondes des retards.	Measured and >
3	Advanced	Senior - Taux de respect des standards élevés	Mise en place d'un système de contrôle qualité basé sur les normes internationales (ISO 9001, IFS, BRC, etc.). Définition des points de contrôle et des méthodes d'inspection pour chaque étape du processus.	Senior - an internal traceability KPI is followed at least once a month, and action plans are defined when target is not reached.	Senior - Audit hebdomadaire pour vérifier l'implémentation cible des produits dans toutes zones, un KPI interne de taux de respect zoning est suivi mensuellement et des plans d'action sont définis lorsque l'objectif n'est pas atteint. Un suivi basé impacts potentiel et on renonce des actions	< 10	Senior - un KPI interne mesure le taux de réclamation liées à la logistique mensuellement. Des actions préventives sont mises en œuvre pour réduire le taux de réclamations, et des analyses approfondies sont effectuées pour	Un KPI interne mesure le taux de retours de matières premières. Des initiatives préventives sont mises en œuvre pour minimiser les retours, accompagnés de plans d'action structurés pour améliorer	> 95,5%	Senior - Le rapport sur le chargement à l'heure est utilisé pour organiser des réunions avec les transporteurs en cas de retard par rapport aux horaires convenus. Et des plans d'action sont élaborés pour identifier et	Measured and >

FIGURE 22 – Système de notation KPI

# Questionnaire-Audit DALOGUEWAY

TotalEnergie Lubrifiants Algerie, DALGUE WAY AUDIT TOOL		Personnes questionnées	SEE	ASK	NOTES
Warehouse Efficiency	QUALITY	Chakib Boudiaf	Respect FEFO? Type de stockage (Aléatoire- dédié)? Présence d'objets au sol? Etat des commandes/palettes? Procédures clés visibles et implémentées? Système de traçabilité? Non conformité des produits?	- Système de traçabilité? - Système d'allocation d'espace et règle de stockage? - Erreurs logistiques fréquentes? - Procédures en cas d'écart d'inventaire?	
	COST		Standardisation visible? Respect des standards? Implication des opérateurs et productivité? KPI de productivité et de coûts visible?	- Taux de saturation des dépôts? - Améliorations de coûts proposées? - Exemples de suggestions d'amélioration des coûts par les opérateurs?	
	DELIVERY		- Emploi du temps pour l'arrivée et le départ des camions? - Règles de chargement et horaire de départ affichés?	- Remplissage des camions? - Taux de services?	

FIGURE 23 – Questionnaire-Audit DALOGUEWAY

# Système de notation référentiel

SCORE										
SHEET	Weight	NB OF QUESTIONS	Système de Notation	POINTS PAR ETAPE					MAX NB OF POINTS (without any "NON)	Points Attribué (without any
				Beginner	Junior	Senior	Advanced	Expert		
QUALITY	8%	8		0	0,69	1,39	2,10	2,78	0	22,5
COST	13%	5		0	0,78	1,56	2,30	3,13	0	15,7
DELIVERY	8%	4		0	0,69	1,39	2,10	2,78	0	11,2

FIGURE 24 – Score standard

Delivery	Système de notation	Note max	Pourcentage	Cost	Système de notation	Note max	Pourcentage	Quality	Système de notation	Note max	Pourcentage
Taux de service	0,69	11,2	6,16%	Stock rotation	2,3	15,7	14,65%	Taux de zoning	0	22,5	0,00%
On time delivery	1,39	11,2	12,41%	Total productivity rate (tonnes/heure payées, palette/heure payées)	0	15,7	0,00%	tracabilité	0	22,5	0,00%
Taux de remplissage camion	2,1	11,2	18,75%	Ecart inventaire (/MOIS)	1,56	15,7	9,94%	Taux de non conformité	1,39	22,5	6,18%
On time Loading	1,39	11,2	12,41%	Warehouse utilisation (saturation) %	2,3	15,7	14,65%	Respect FEFO	0,69	22,5	3,07%
Somme des points	5,57	11,2	49,73%	Total €/ton evolution (fix + variable) (including subcontractors)	2,3	15,7	14,65%	Nombre d'objets visibles au sol par 1000 m <sup>2</sup> (bois, clous, film, étiquettes de produits endommagés, ...)	2,78	22,5	12,36%
				Somme des points	8,46	15,7	53,89%	Taux de réclamation	2,1	22,5	9,33%
								Taux de retours	2,1	22,5	9,33%
								Somme des Points	9,06	22,5	40,27%

FIGURE 25 – Système de notation

## Annexe G : Démarche prévisionnelle

### Prévisions Facbook Prophet

```

import pandas as pd
from prophet import Prophet
import os
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

data = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/COLAB/Commandes.csv")
# Affichage des premières lignes pour la verification des noms de colonnes
print(data.head())
# Créer un nouvel objet modèle Prophet
model = Prophet(yearly_seasonality=True, daily_seasonality=True)
# S'assurer que la colonne 'ds' est au format datetime
data['ds'] = pd.to_datetime(data['ds'], format="%d/%m/%Y")

# Filtrer les données à partir du 21 mars 2024
df = data[data['ds'] >= '2024-03-21']

# Nous ajustons le modèle en instanciant un nouvel objet Prophet
model.fit(df)

# Prévision mensuelle
future = model.make_future_dataframe(periods=20, freq='M')
future.tail()
forecast = model.predict(future)

# Affichage des prévisions
print(forecast[['ds', 'yhat', 'yhat_lower', 'yhat_upper']].tail)

# Dessiner le graphe des prévisions
fig1 = model.plot(forecast)

# Tracer ces composantes de prevision
fig2 = model.plot_components(forecast)

```

# Annexe H : Tableau de synthèse de prévision

FIGURE 26 – Tableau de synthèse de prévision

Type	Méthode	Tendance	Saisonnalité	Changement de structure	Complexité de la méthode (échelle de 1 à 7)
Lissage	MMS	Non	Non	Non	1
	MMD	Oui (linéaire)	Non	Non	2
	LES	Non	Non	Oui	3
	LED	Oui (linéaire)	Non	Oui	4
	HW Non-Saisonnière	Oui (linéaire)	Non	Oui	5
	HW Saisonnière	Oui (linéaire)	Oui	Oui	6
Contrôle	BJ	Oui (quelconque)	Oui	Oui	7

# Annexe I : Système d'Adressage produits

The diagram illustrates a product addressing system for HADJI warehouses, organized into sections AF, BF, BM, and CM. Each section contains a grid of product codes and their corresponding stock status. To the right, summary tables provide key metrics for each section.

Section	MBR PAL occupé	MBRE PAL VIDE
ALLES A	1552	0
ALLES B	1547	4
ALLES C	39	1
ALLES D	4	3451
ALLES E	3213	5
ALLES F	0	0

Section	STOCK OCUPÉ	STOCK LIBRE
AF	3213	5
BF	0	0
BM	0	0
CM	0	0

FIGURE 27 – Système d'adressage dépôts HADJI

Annexe J :Produits RUBIA TIR 7400 15W40 5BL



FIGURE 28 – RUBIA TIR 7400 15W40 3B5L