

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département Genie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

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

Optimisation de la performance de la chaîne d'approvisionnement par
une meilleure anticipation de la demande et l'amélioration de la
gestion des disponibilités : cas de TotalEnergies Lubrifiants Algérie

SEDRATI Sabrina & LARBI BOUAMRANE Ithar

Sous la direction de

M. BOUKABOUS Ali – ENP

M. DAIEKH Djaber – TotalEnergies

Présenté et soutenu publiquement le (22/06/2026)

Composition du jury :

Président : Dr. ABBACI Ayoub ENP

Promoteur : M. BOUKABOUS Ali ENP

Examinatrice : Pr. AIT BOUAZZA Sofia ENP

ENP 2026

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

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département Genie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

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

Optimisation de la performance de la chaîne d'approvisionnement par
une meilleure anticipation de la demande et l'amélioration de la
gestion des disponibilités : cas de TotalEnergies Lubrifiants Algérie

SEDRATI Sabrina & LARBI BOUAMRANE Ithar

Sous la direction de

M. BOUKABOUS Ali – ENP

M. DAIEKH Djaber – TotalEnergies

Présenté et soutenu publiquement le (22/06/2026)

Composition du jury :

Président : Dr. ABBACI Ayoub ENP

Promoteur : M. BOUKABOUS Ali ENP

Examinatrice : Pr. AIT BOUAZZA Sofia ENP

ENP 2026

ملخص

يأتي هذا العمل في إطار تحسين إدارة التوفرات والتحكم في الطلب داخل شركة TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA). نقوم أولاً بتصنيف المنتجات. ثم نقوم بتوقع الطلب بالاعتماد على النماذج الإحصائية ونماذج التعلم الآلي، قبل تقييم أدائها باستخدام مؤشرات مناسبة. تسمح النتائج المتحصل عليها بتحديد مستويات المخزون بما يساهم في تحسين إدارة التوفرات. وأخيراً، نقوم بتطوير لوحة قيادة لاتخاذ القرار تُمكن من متابعة التوقعات ودعم تخطيط عمليات التزويد.

الكلمات المفتاحية: إدارة المخزون، التنبؤ بالطلب، التعلم الآلي، تخطيط التزويد.

Abstract

This work is part of the improvement of inventory availability and demand management within TotalEnergies Lubricants Algeria (TELA). To achieve this objective, we first perform product classification. We then forecast demand using statistical models and machine learning techniques, before evaluating their performance using appropriate indicators. The obtained results allow the determination of inventory levels to improve availability management. Finally, we develop a decision-support dashboard enabling demand tracking and replenishment planning.

Keywords : Inventory management, demand forecasting, machine learning, replenishment management.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration du pilotage des disponibilités et de la maîtrise de la demande au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA). Afin d'atteindre cet objectif, nous procédons d'abord à une classification des produits. Nous réalisons ensuite la prévision de la demande à l'aide de modèles statistiques et de modèles basés sur l'apprentissage automatique, avant d'évaluer leurs performances à travers des indicateurs appropriés. Les résultats obtenus permettent de dimensionner les niveaux de stock afin d'améliorer la gestion des disponibilités. Enfin, nous développons un tableau de bord décisionnel permettant le suivi des prévisions et le pilotage des approvisionnements.

Mots-clés : Gestion des stocks, prévision de la demande, apprentissage automatique, pilotage de réapprovisionnement.

Dédicace

Tout d'abord, je remercie Dieu de m'avoir permis d'arriver jusqu'à ce jour, de m'avoir donné la force et le courage nécessaires pour accomplir mes années d'études et mener ce travail à son terme. Je prends également un moment pour reconnaître le chemin parcouru et tous les efforts fournis pour arriver jusqu'ici. J'atteins aujourd'hui cette étape après des années de travail et de persévérance. Ce mémoire représente bien plus qu'un projet académique ; il est l'aboutissement d'un parcours qui m'a permis de grandir, d'apprendre et de me dépasser.

À mon papa,

Ton soutien a toujours été précieux. Je me souviens encore du jour où tu m'as tenue la main pour m'accompagner à mon premier jour d'école. Aujourd'hui, te voir assister à ma soutenance me remplit d'émotion. Du premier jour jusqu'à aujourd'hui, tu as toujours été présent à chaque étape de mon parcours. Derrière chacune de mes réussites se trouvent tes efforts et ton soutien inconditionnel. Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir encouragée à avancer. Tes encouragements, souvent silencieux mais toujours sincères, se sont exprimés à travers tes actes bien plus que par les mots.

À ma maman,

Je te dédie ce travail avec tout mon amour. Ton soutien infini, tes sacrifices et tes encouragements constants ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Ta petite fille obtient aujourd'hui son diplôme sous ton regard bienveillant, fruit de toutes ces années d'amour, de patience et de dévouement. Chaque réussite que j'ai accomplie a toujours été portée par tes douaa, ta tendresse et ta confiance. J'espère continuer à te rendre fière aujourd'hui et pour le reste de ma vie.

À Hiba et Karim,

L'une des plus belles choses que la vie m'a offertes est d'avoir une sœur et un frère comme vous. Vous n'avez jamais cessé de me montrer à quel point je compte pour vous. Votre présence, votre soutien et votre affection ont toujours été une source de force pour moi. Merci d'avoir partagé avec moi les joies comme les moments difficiles.

À toute ma famille, à mes tantes, mes oncles et mes cousins,

Merci pour votre soutien, vos encouragements et votre bienveillance. Je suis reconnaissante de vous avoir à mes côtés dans cette étape importante de ma vie.

À mes chères Bouthaina et Bouthaina,

Votre amitié n'a jamais été une simple amitié. Vous avez toujours été pour moi de véritables sœurs. Merci pour votre présence, votre écoute et tous les souvenirs que nous avons construits ensemble.

À ma binôme Sabrina,

Nous avons déjà partagé plusieurs expériences ensemble, et ce projet est une nouvelle preuve. Merci pour ton sérieux et tous les efforts que nous avons fournis ensemble. Ce fut un plaisir de vivre cette aventure à tes côtés.

À Nesrine, Lyna et Hadil, Abderraouf, Adnane, Anis,

Merci pour tous les moments de partage qui ont accompagné mon parcours universitaire. Votre présence a contribué à rendre ces années encore plus mémorables.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à mon parcours, ont croisé mon chemin et participé, chacune à sa manière, à la réalisation de ce travail.

Ithar Larbi Bouamrane

Dédicase

Je rends grâce à Allah, dont la bénédiction a guidé chacun de mes pas. Ce travail marque l'aboutissement de toutes ces années d'efforts, d'apprentissage et de persévérance. Rien de tout cela n'aurait été possible sans Lui.

À mon cher père,

Mon modèle et mon pilier. Merci pour ton amour, ta protection et tous les efforts et sacrifices que tu as faits pour mon bonheur et ma réussite. Tu m'as transmis les plus belles valeurs : la détermination, la persévérance et le courage. Ce travail est le reflet de tout ce que tu m'as appris.

À ma chère maman,

Ma Source inépuisable d'amour, de tendresse et de force. Merci pour tes prières, ton soutien, ton éducation précieuse et, surtout, pour l'exemple de femme que tu m'as donné. Chaque réussite de ma vie porte une part de toi.

À ma chère sœur Amel,

Merci pour ta présence constante, tes conseils, ton soutien et ton amour. Ton parcours, ta force et la femme que tu es ont toujours été une source d'inspiration pour moi.

À mes chers frères, Tarek et Fateh,

Mes protecteurs. Merci pour votre affection et votre soutien. Votre présence a toujours été une force sur laquelle j'ai pu compter.

À toute ma famille, mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes cousines,

Merci pour votre soutien et vos encouragements. Une pensée particulière à Imane et Roumaïssa, qui ont toujours été pour moi bien plus que des cousines : des sœurs de cœur avec qui j'ai grandi.

À ma binôme, Ithar,

Ravie d'avoir partagé ce projet avec toi et tant d'autres expériences. Fièvre de ce que nous avons accompli et de tous les défis que nous avons su relever.

À tous les amis qui ont accompagné ces cinq années d'études,

Merci pour les souvenirs, les moments de joie, les défis relevés ensemble et tout ce qui a rendu cette aventure inoubliable.

À la fin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue, encouragée, appris quelque chose ou simplement cru en moi.

Sabrina Sedrati

Remerciements

L'aboutissement de ce projet de fin d'études est le fruit d'un accompagnement précieux et du soutien de nombreuses personnes auxquelles nous tenons à exprimer notre profonde gratitude.

Nous adressons tout d'abord nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel de TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA) , notre organisme d'accueil, pour son accueil chaleureux, sa disponibilité et sa collaboration tout au long de notre stage. Les échanges enrichissants que nous avons eus avec les différentes équipes ont grandement contribué à la réalisation de ce travail et à notre développement professionnel.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à notre promoteur, Monsieur **Boukabous Ali**, pour avoir assuré la direction de ce projet de fin d'études. Sa disponibilité, ses conseils avisés, son encadrement rigoureux et la qualité de ses orientations tout au long de cette expérience ont été déterminants dans la réussite de ce travail.

Nos remerciements vont également à Monsieur **Djaber Daiekh**, de TotalEnergies Algérie, pour son encadrement sur le terrain, sa disponibilité constante et l'intérêt sincère qu'il a porté à notre travail. Son expertise et ses précieux conseils ont été d'un apport considérable.

Enfin, nous remercions les membres du jury pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce mémoire.

Sabrina Sedrati & Ithar Larbi Bouamrane

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des acronymes

Introduction générale	18
1 Étude de l'existant : Analyse de secteur d'activité	20
1.1 Présentation générale du marché des lubrifiants	21
1.2 TotalEnergies à l'échelle mondiale	22
1.2.1 Secteurs d'intervention de TotalEnergies	22
1.2.2 La branche Marketing & Services (M&S)	22
1.2.3 TotalEnergies Afrique et Moyen-Orient (AMO)	23
1.3 Présentation de l'organisme d'accueil : TotalEnergies à l'échelle nationale	24
1.3.1 Organigramme de M&S Algérie	24
1.3.2 TotalEnergies Bitumes Algérie et TotalEnergies Lubrifiants Algérie . . .	25
1.3.3 Organisation de la Direction Exploitation : l'usine d'Oran et l'entrepôt de Blida	26
1.3.4 Les flux physiques entre Oran, Blida et les clients régionaux	27
1.4 Diagnostic et formulation de la problématique	28
1.4.1 Diagnostic externe de TELA	28
1.4.2 Diagnostic interne de TELA	30
1.4.3 Analyse SWOT	38
1.4.4 Analyse des données des ventes	39
1.5 Enoncé de la problématique	44

2	État de l'art : Fondements théoriques de la prévision, de la gestion des stocks et de la supply chain dans le secteur des lubrifiants	45
2.1	Concepts liés à la supply chain	46
2.1.1	Définition de la supply chain	46
2.1.2	Supply Chain entre efficience et réactivité	48
2.2	La Supply Chain dans le secteur des lubrifiants	50
2.2.1	La nécessité d'une supply chain réactive dans le secteur des lubrifiants . .	50
2.2.2	Pourquoi la gestion des stocks est indispensable à cette réactivité	51
2.3	Prévision	51
2.3.1	L'horizon de prévision	51
2.3.2	Les méthodes de prévision	52
2.3.3	La démarche prévisionnelle	53
2.4	L'intelligence artificielle au service de la prise de décisions plus efficace	63
2.5	Étude de la performance des modèles	67
2.6	La gestion des stocks	68
2.6.1	Les stocks	68
2.6.2	Gestion des stocks	68
2.6.3	La gestion des stocks d'articles destinés à la production	69
2.6.4	La gestion des stocks d'articles destinés à la distribution par entrepôts .	70
2.6.5	Politiques de la gestion des stocks	71
3	Résolution de la problématique : de la donnée brute au pilotage opérationnel	73
3.1	Préparation et traitement des données	74
3.2	Classification des produits	74
3.3	Analyse des ventes des produits	76
3.4	Prévisions de la demande	78
3.4.1	Analyse informelle de la série chronologique	78
3.4.2	Analyse formelle de la série chronologique : tests statistiques	78
3.4.3	Déclinaison des prévisions par site (Oran & Blida)	90
3.5	Politique de gestion de stock	91
3.6	Pilotage de la performance à TELA	95

3.7 Synthèse, recommandations et perspectives	99
Conclusion générale	103
Bibliographie	105
ANNEXES	108

Liste des tableaux

1.1	Analyse PESTEL du marché des lubrifiants en Algérie	29
1.2	Synthèse de l'audit logistique	37
1.3	Statistiques de l'audit logistique	37
1.4	Analyse des causes par la méthode des 5 Pourquoi	43
2.1	Comparaison entre les chaînes d'approvisionnement efficaces et réactives (Fisher, Chopra & Meindl)	49
2.2	Horizons des différents secteurs d'une entreprise Source : Pimor, Y. et Fender, M. (2008).	52
3.1	Description des classes ABC	74
3.2	Description des classes XYZ	75
3.3	Matrice ABC-XYZ	75
3.4	Codification des produits selon les classes AX, AY, BX et BY	76
3.5	Résultats des techniques de lissage	82
3.6	Évaluation de la qualité des données synthétiques générées	86
3.7	Prévisions des ventes du produit P004 en utilisant le modèle RF	87
3.8	Prévisions des ventes du produit P004 en utilisant le modèle (LSTM)	88
3.9	Comparaison des indicateurs d'erreur entre Random Forest et LSTM	89
3.10	Comparaison du MAPE (%) entre LSTM et Random Forest	89
3.11	Stock de sécurité et sa couverture par produit et site	93
3.12	Paramètres de stock ordonnés par code produit	94
3.13	Stock cible par produit	95
3.14	KPI retenus pour le pilotage de la prévision et des stocks	97
0.15	Synthèse des résultats du Chapitre 1 : Management logistique	116
0.16	Synthèse des résultats du Chapitre 6 : Stockage	117
0.17	Critères de sélection des techniques de Lissage	127

0.18 Critères de sélection des techniques de Contrôle	127
0.19 Classification ABC–XYZ des produits	130
0.20 Résultats du test de Dickey-Fuller par produit	136
0.21 Résultats des modèles ARMA par produit	137
0.22 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P001	139
0.23 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P002	139
0.24 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P003	139
0.25 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P004	139
0.26 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P005	140
0.27 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P006	140
0.28 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P007	140
0.29 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P008	140
0.30 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P009	141
0.31 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P010	141
0.32 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P011	141
0.33 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P012	141
0.34 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P013	142
0.35 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P014	142
0.36 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P015	142
0.37 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P016	142
0.38 Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P017	143

0.39	Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P018	143
0.40	Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P019	143
0.41	Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P020	143
0.42	Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P021	144
0.43	Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P022	144
0.44	Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P023	144
0.45	Analyse des modèles candidats	146
0.46	Performances du modèle Random Forest par produit	148
0.47	Prévision avec LSTM par produit	152

Table des figures

1.1	Vue d'ensemble de la démarche et de l'organisation du chapitre 1	20
1.2	Volume du marché 2024-2029 (Mordor Intelligence)	21
1.3	Croissance du marché des lubrifiants entre 2023-2028 par région (Mordor Intelligence)	21
1.4	Organigramme de M&S Algérie	24
1.5	Organisation du groupe TotalEnergies en Algérie et positionnement de ses principales filiales	25
1.6	Flux logistique TotalEnergies Algérie	27
1.7	Cartographie Niveau 1	30
1.8	Cartographie Niveau 2	33
1.9	Cartographie Niveau 3	33
1.10	Audit Logistique ASLOG (Totalenergies)	35
1.11	Graphique des résultats du chapitre 1 : Management, Stratégie et Planification	35
1.12	Graphique des résultats du chapitre 6 : Le stockage	36
1.13	Matrice SWOT	38
1.14	Évolution annuelle des volumes facturés (tonnes nettes) et du chiffre d'affaires de TELA (2023–2025)	39
1.15	Répartition du chiffre d'affaires et des volumes facturés par canal et site de distribution (2023–2025)	40
1.16	Evolution chronologique du surplus/rupture de stocks de certains produits les plus significatifs entre 2023 et 2025	41
1.17	Évolution du taux d'occupation et des flux commerciaux sur la période mai–décembre 2025	41
1.18	Illustration du déséquilibre offre/demande : couverture excessive et stagnation des ventes d'un produit à faible rotation	42
2.1	Vue d'ensemble de la démarche et de l'organisation du chapitre 2	45

2.2	Classification des produits selon l'incertitude de la demande et de la supply chain [10]	47
2.3	Typologie de la modélisation prévisionnelle	52
2.4	La démarche prévisionnelle : les cinq visions du futur	53
2.5	Principales techniques qualitatives	53
2.6	Typologie des techniques de la modélisation prévisionnelle Quantitative	54
2.7	étapes de prévision avec les méthodes causales	55
2.8	étapes de prévision avec les méthodes Auto-projective	56
2.9	Structure du test de racine unitaire Dickey-Fuller	61
2.10	les étapes de la méthodologie de Box-Jenkins	62
2.11	La démarche de la procédure de prévision par Box-Jenkins	63
2.12	Conception d'un Réseau de Neurones	66
2.13	Schéma des différents types de stocks dans le processus de production	69
2.14	Schéma de distribution par entrepôts éclatés	71
3.1	Vue d'ensemble de la démarche et de l'organisation du chapitre 3	73
3.2	Quantités vendues par produit (2023–2025)	77
3.3	Analyse informelle de la série chronologique	78
3.4	Test ANOVA	79
3.5	Test DF modèle [6] et [5]	80
3.6	Test DF modèle [4]	80
3.7	Test DF modèle [6] et [5]	81
3.8	Test DF modèle [4]	81
3.9	Représentation des prévisions sur 3 mois (Technique de lissage)	81
3.10	Modèle candidat (1)	82
3.11	Modèle candidat (2)	83
3.12	Test sur les résidus : tests de portemanteau	84
3.13	Représentation des prévisions de P004 sur 3 mois (Random Forest)	87
3.14	Représentation des prévisions de P004 sur 3 mois (LSTM)	88
3.15	Tableau de Bord de Prévision de la demande	98
3.16	Tableau de Bord de Planification des Stocks	98
0.17	Une analyse comparative des référentiels d'audit logistique	114

0.18	les principaux thèmes couverts par ASLOG	115
0.19	Principe de notation de l'ASLOG	115
0.20	Réponses à la question 1.1.1 et 1.1.2 de l'audit logistique	118
0.21	Réponses à la question 1.1.3 et 1.1.4 de l'audit logistique	118
0.22	Réponses à la question 1.1.5 de l'audit logistique	119
0.23	Réponses à la question 1.2.1 et 1.2.2 de l'audit logistique	119
0.24	Réponses à la question 1.2.3 et 1.2.4 de l'audit logistique	120
0.25	Réponses à la question 1.3.1 et 1.3.2 de l'audit logistique	120
0.26	Réponses à la question 1.3.3 et 1.3.4 de l'audit logistique	121
0.27	Réponses à la question 6.1.1 et 6.1.2 de l'audit logistique	121
0.28	Réponses à la question 6.2.1 et 6.2.2 de l'audit logistique	122
0.29	Réponses à la question 6.2.3 et 6.2.4 de l'audit logistique	122
0.30	Réponses à la question 6.2.5 et 6.2.6 de l'audit logistique	123
0.31	Réponses à la question 6.2.7 de l'audit logistique	123
0.32	Réponses à la question 6.3.1 et 6.3.2 de l'audit logistique	124
0.33	Réponses à la question 6.3.3 et 6.3.4 de l'audit logistique	124
0.34	Réponses à la question 6.4.1 de l'audit logistique	125
0.35	Réponses à la question 6.5.1 et 6.5.2 de l'audit logistique	125
0.36	Synthèse comparative des modèles de Machine Learning pour la prévision de la demande	128
0.37	Corrélogrammes des séries (1)	132
0.38	Corrélogrammes des séries (2)	133
0.39	Corrélogrammes des séries (3)	134
0.40	Corrélogrammes des séries (4)	135
0.41	Code python du modèle LSTM	151
0.42	Prévision LSTM et valeurs réelles P001	152
0.43	Prévision LSTM et valeurs réelles P002	152
0.44	Prévision LSTM et valeurs réelles P003	153
0.45	Prévision LSTM et valeurs réelles P004	153
0.46	Prévision LSTM et valeurs réelles P005	153
0.47	Prévision LSTM et valeurs réelles P006	154

0.48	Prévision LSTM et valeurs réelles P007	154
0.49	Prévision LSTM et valeurs réelles P008	154
0.50	Prévision LSTM et valeurs réelles P009	155
0.51	Prévision LSTM et valeurs réelles P010	155
0.52	Prévision LSTM et valeurs réelles P011	155
0.53	Prévision LSTM et valeurs réelles P012	156
0.54	Prévision LSTM et valeurs réelles P013	156
0.55	Prévision LSTM et valeurs réelles P014	156
0.56	Prévision LSTM et valeurs réelles P015	157
0.57	Prévision LSTM et valeurs réelles P016	157
0.58	Prévision LSTM et valeurs réelles P017	157
0.59	Prévision LSTM et valeurs réelles P018	158
0.60	Prévision LSTM et valeurs réelles P019	158
0.61	Prévision LSTM et valeurs réelles P020	158
0.62	Prévision LSTM et valeurs réelles P021	159
0.63	Prévision LSTM et valeurs réelles P022	159
0.64	Prévision LSTM et valeurs réelles P023	159

Liste des acronymes

- **ACF** : Autocorrelation Function (Fonction d'autocorrélation)
- **ADF** : Augmented Dickey-Fuller (Test statistique de racine unitaire augmenté)
- **AIC** : Akaike Information Criterion (Critère d'information d'Akaike)
- **ANOVA** : Analysis of Variance (Analyse de la variance)
- **AR** : AutoRegressive (Modèle autorégressif d'ordre p)
- **ARIMA** : AutoRegressive Integrated Moving Average (Modèle autorégressif intégré moyenne mobile)
- **ARMA** : AutoRegressive Moving Average (Modèle autorégressif moyenne mobile)
- **ASLOG** : Association française pour la LOGistique
- **BIC** : Bayesian Information Criterion (Critère d'information bayésien)
- **BJ** : Méthodologie de Box-Jenkins
- **CA** : Chiffre d'Affaires
- **CAGR** : Compound Annual Growth Rate (Taux de croissance annuel composé)
- **CFP** : Compagnie Française des Pétroles (ancien nom historique du groupe)
- **CV** : Coefficient de Variation
- **DF** : Dickey-Fuller (Test statistique simple de racine unitaire)
- **DL** : Délai de Réapprovisionnement / Lead Time
- **EP** : Exploration Production (Branche d'activité de TotalEnergies)
- **ERP** : Enterprise Resource Planning (Progiciel de gestion intégré)
- **FIFO** : First In, First Out (Premier entré, premier sorti)
- **GNL** : Gaz Naturel Liquéfié
- **GW** : Gigawatt (Unité de mesure de puissance électrique)
- **HSSE** : Health, Safety, Sustainability & Environment
- **HWNS** : Modèle Holt-Winters Non Saisonnier
- **HWSA** : Modèle Holt-Winters Saisonnier Additif
- **ISO** : International Organization for Standardization
- **JAT** : Juste-à-Temps
- **KPI** : Key Performance Indicator (Indicateur clé de performance)
- **LED** : Lissage Exponentiel Double
- **LES** : Lissage Exponentiel Simple
- **LIFO** : Last In, First Out (Dernier entré, premier sorti)
- **LSTM** : Long Short-Term Memory (Réseau de neurones récurrents à mémoire long/court terme)
- **MA** : Moving Average (Moyenne mobile d'ordre q)
- **MAD / MAE** : Mean Absolute Deviation / Mean Absolute Error (Erreur absolue moyenne)
- **MAPE** : Mean Absolute Percentage Error (Erreur pourcentage absolue moyenne)

- **MENA** : Middle East and North Africa (Région Moyen-Orient et Afrique du Nord)
- **ML** : Machine Learning (Apprentissage automatique)
- **MMD** : Moyenne Mobile Double
- **MMS** : Moyenne Mobile Simple
- **MSE** : Mean Squared Error (Erreur quadratique moyenne)
- **PACF** : Partial Autocorrelation Function (Fonction d'autocorrélation partielle)
- **QEC** : Quantité Économique de Commande (Formule de Wilson)
- **RF** : Random Forest (Forêts aléatoires)
- **RMSE** : Root Mean Squared Error (Racine de l'erreur quadratique moyenne)
- **RNA** : Réseaux de Neurones Artificiels
- **SCOR** : Supply Chain Operations Reference (Modèle de référence des opérations de la chaîne logistique)
- **SKU** : Stock Keeping Unit (Code ou unité de gestion des stocks)
- **SR** : Stock Roulant
- **SS** : Stock de Sécurité
- **TELA** : TotalEnergies Lubrifiants Algérie
- **TEBA** : TotalEnergies Bitumes Algérie
- **USD** : United States Dollar (Dollar américain)
- **WMS** : Warehouse Management System (Système de gestion d'entrepôt)
- **XGBoost** : Extreme Gradient Boosting (Algorithme d'apprentissage automatique basé sur les arbres de décision)

Introduction générale

“La logistique, c’est l’art de gérer les flux pour que le bon produit arrive au bon endroit, au bon moment et au moindre coût.”

Peter Drucker, Théoricien du management

Dans un contexte économique mondial marqué par une compétitivité accrue et des exigences clients en constante évolution, la performance logistique est devenue un levier stratégique incontournable pour toute entreprise souhaitant préserver et renforcer sa position sur le marché. La maîtrise des flux physiques et informationnels, de l’approvisionnement jusqu’à la livraison finale, conditionne désormais la capacité d’une organisation à répondre efficacement à la demande tout en optimisant ses coûts opérationnels.

C’est dans ce cadre que s’inscrit le présent travail, réalisé au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA), opérant sur un marché algérien en pleine mutation. La croissance soutenue des volumes de ventes exerce une pression croissante sur l’ensemble de la chaîne logistique. Dans le cas de TotalEnergies Lubrifiants Algérie, cette évolution se traduit par une complexification croissante de la gestion des stocks. L’augmentation des volumes vendus, la variabilité de la demande et les délais d’approvisionnement rendent plus difficile l’équilibre entre disponibilité produit et maîtrise des niveaux de stock. En effet, un stock insuffisant entraîne des ruptures susceptibles d’affecter le niveau de service client et de générer des pertes commerciales, tandis qu’un stock excessif immobilise des ressources financières importantes et accroît les coûts de stockage. Ainsi, la problématique centrale de ce mémoire réside dans la recherche d’un mode de gestion capable de garantir une meilleure adéquation entre la demande réelle, les prévisions et les approvisionnements.

Dans cette optique, la question de recherche qui guide ce travail peut être formulée comme suit :

« Comment améliorer la maîtrise de la demande et la gestion des disponibilités au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie, afin de réduire les déséquilibres entre l’offre et la demande et d’optimiser la performance de sa chaîne d’approvisionnement ? »

Dans cette perspective, de nombreux travaux académiques et industriels ont été développés afin d’améliorer la gestion des stocks et des approvisionnements au sein des entreprises industrielles et de distribution. Ces travaux remontent aux premiers développements de la recherche opérationnelle dans les années 1945 et ont évolué vers des approches plus avancées intégrant des méthodes de prévision de la demande et des modèles de réapprovisionnement dynamique.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres comme suit :

- **Chapitre 1 :** Ce chapitre présente le contexte général du projet à travers une présentation du groupe TotalEnergies et de sa filiale TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA). Il comprend également une analyse de l’environnement interne et externe de l’entreprise,

un diagnostic de ses pratiques logistiques ainsi qu'une analyse des données de ventes sur la période 2023–2025. Cette démarche permet d'identifier les principaux dysfonctionnements observés et de formuler la problématique de recherche.

- **Chapitre 2 :** Ce chapitre établit le cadre conceptuel et théorique de l'étude. Il présente les fondements de la supply chain, avant d'aborder les différentes méthodes de prévision de la demande, allant des approches statistiques de lissage aux techniques d'intelligence artificielle. Enfin, il traite des concepts, méthodes et outils de gestion des stocks, notamment les politiques de réapprovisionnement et le dimensionnement des niveaux de stock.
- **Chapitre 3 :** Ce chapitre est consacré au développement de la solution proposée. Il présente d'abord la méthodologie de segmentation des produits à travers une analyse ABC-XYZ permettant de cibler les références stratégiques. Il expose ensuite la construction et l'évaluation des modèles de prévision de la demande à l'aide de techniques statistiques et de machine learning. Les résultats obtenus servent ensuite à définir une politique de gestion des stocks adaptée, incluant le calcul des paramètres de réapprovisionnement et des niveaux de stock. Enfin, ce chapitre présente la conception d'un tableau de bord décisionnel destiné à la planification de la demande et des stocks, afin de faciliter le pilotage opérationnel et l'aide à la décision au sein de TELA.

Enfin, ce mémoire se conclut par une synthèse des principaux résultats obtenus, suivie de perspectives d'amélioration et de pistes de recherche futures.

Chapitre 1

Étude de l'existant : Analyse de secteur d'activité

Introduction

Par le biais de ce premier chapitre, une présentation du contexte de notre projet de fin d'études va être menée, en mettant en évidence ses domaines d'intervention, ses activités ainsi que le positionnement de TotalEnergies Algérie au sein du groupe. Au-delà, nous allons tenter de nous rapprocher de la filiale dans laquelle nous avons réalisé notre projet durant une période de six mois, à savoir TotalEnergies Lubrifiants Algérie.

Après une analyse de l'environnement externe et une compréhension de l'organisation interne de l'entreprise, une seconde partie de ce chapitre est consacrée au diagnostic des pratiques de l'organisme d'accueil, afin de mieux positionner la problématique en cohérence avec sa stratégie, qui lui permet de conserver sa place sur le marché, voire de la renforcer.

Enfin, ce chapitre se conclura par la formulation de la problématique et les étapes méthodologiques que nous allons suivre pour y répondre.

La figure (1.1) présente un schéma récapitulatif de notre démarche adoptée dans ce premier chapitre.

Présentation de TotalEnergies



- Marché des lubrifiants
- TotalEnergies à l'échelle mondiale
- TotalEnergies à l'échelle nationale

Diagnostic de TELA



- Audit des pratiques logistiques
- Cartographie des processus par l'approche processus
- Dysfonctionnements identifiés

Enoncé de la problématique



- Mise en contexte de la problématique

FIGURE 1.1 – Vue d'ensemble de la démarche et de l'organisation du chapitre 1

1.1 Présentation générale du marché des lubrifiants

Dans un contexte mondial où l'industrie, la mobilité et les besoins énergétiques demeurent étroitement liés, les lubrifiants occupent une place stratégique au sein de la chaîne de valeur pétrolière. Ces produits à forte valeur ajoutée, notamment les huiles moteur, les huiles pour engrenages, les fluides de transmission ainsi que les lubrifiants industriels et marins, constituent un marché mondial en constante évolution. Celui-ci est estimé à 169,09 milliards de dollars en 2025 et devrait atteindre près de 229,46 milliards de dollars à l'horizon 2035, avec un taux de croissance annuel composé (CAGR) de 3,1 % sur la période 2026–2035.[1]

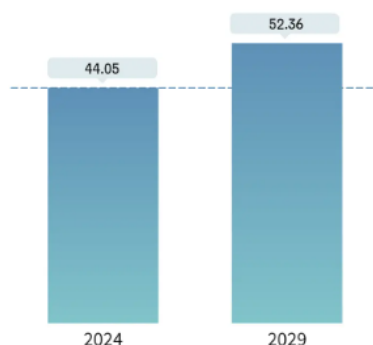


FIGURE 1.2 – Volume du marché 2024-2029 (Mordor Intelligence)

La région Asie-Pacifique domine largement ce marché, avec une part estimée à environ 45 % à l'horizon 2035, portée principalement par la Chine et les grandes économies industrielles. Par ailleurs, le secteur est caractérisé par la présence de grands groupes internationaux tels que ExxonMobil, Shell, BP, Chevron et TotalEnergies, qui jouent un rôle clé dans la production et la distribution des lubrifiants à l'échelle mondiale.

À l'échelle régionale, la zone Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA) présente également une dynamique de croissance soutenue, avec un marché estimé à près de 25 milliards de dollars d'ici 2030 et un taux de croissance annuel d'environ 4 %. [2]

L'Afrique du Nord enregistre une progression légèrement supérieure, estimée à 4,5 % par an, portée par le développement industriel et l'augmentation des besoins énergétiques.[2]

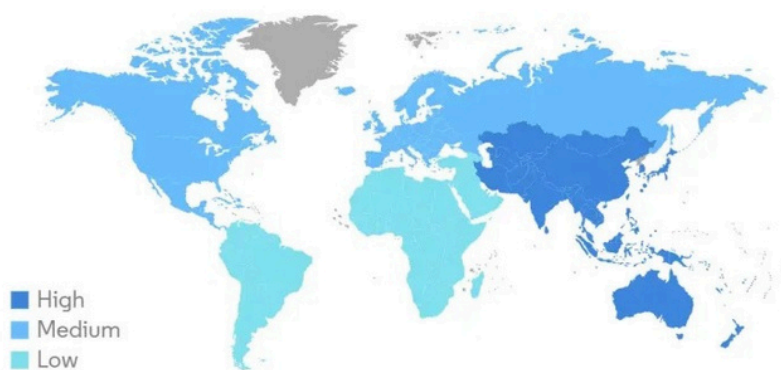


FIGURE 1.3 – Croissance du marché des lubrifiants entre 2023-2028 par région (Mordor Intelligence)

En Algérie, le marché des lubrifiants est en pleine structuration. Les revenus générés étaient

estimés à près de 55 milliards de dinars en 2022 et devraient continuer à croître à un rythme annuel d'environ 1,5 % sur la période 2025–2029.[3]

1.2 TotalEnergies à l'échelle mondiale

Fondée le 28 mars 1924 sous le nom de Compagnie française des pétroles (CFP), l'entreprise a traversé près d'un siècle de transformations successives. Elle prend le nom de Total en 1991, avant d'adopter sa dénomination actuelle, TotalEnergies, en 2021.

TotalEnergies SE est aujourd'hui une compagnie multi-énergies mondiale. Elle produit et fournit une large gamme d'énergies : pétrole, biocarburants, gaz naturel, gaz verts, énergies renouvelables et électricité. Son siège social se situe à la Tour Coupole, à Paris-La Défense.

Elle est implantée sur les cinq continents dans 125 pays, employant 102 887 collaborateurs représentant près de 170 nationalités, à travers 903 filiales et plus de 800 sites industriels.

La Compagnie figure parmi les premières entreprises mondiales dans son secteur, avec un chiffre d'affaires de 201 milliards USD en 2025 et un résultat net ajusté de 15,6 milliards USD.

Sur le plan environnemental, TotalEnergies a réduit ses émissions de gaz à effet de serre d'environ 28,3 % entre 2015 et 2025, avec un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, tout en disposant de 34,1 GW de capacités brutes installées en énergies renouvelables et en exploitant 36 sites de production de lubrifiants et graisses à travers le monde.[4]

1.2.1 Secteurs d'intervention de TotalEnergies

Le groupe TotalEnergies structure ses activités autour de quatre grandes branches, chacune intervenant sur des segments complémentaires de la chaîne énergétique mondiale.

- **La branche Exploration Production (EP)** : regroupe les activités liées à la recherche et à la production d'hydrocarbures. Le groupe opère dans près de 50 pays, avec une production nette de 2 529 kbep/j en 2025.
- **La branche Gaz & Nouvelles Énergies** : constitue un axe stratégique de développement, positionnant TotalEnergies comme le troisième acteur mondial du gaz naturel liquéfié (GNL), avec 43,9 millions de tonnes commercialisées en 2025.
- **La branche Raffinage Chimie** : assure la transformation des hydrocarbures et la production de produits dérivés, en s'appuyant sur un réseau industriel de 14 raffineries, dont une bioraffinerie, et 26 sites pétrochimiques.
- Enfin, **la branche Marketing & Services** : intervient dans la commercialisation des produits pétroliers, des lubrifiants et des nouvelles énergies de la mobilité, avec une présence étendue dans près de 100 pays à travers un réseau d'environ 13 000 stations-service. C'est au sein de cette branche que s'inscrit directement notre organisme d'accueil.[4]

1.2.2 La branche Marketing & Services (M&S)

Créée en janvier 2012, **la branche Marketing & Services (M&S)** représente l'entité commerciale du groupe TotalEnergies, chargée de l'approvisionnement, de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers, des carburants bas carbone ainsi que des nouvelles solutions de mobilité. Avant sa structuration formelle, ces activités étaient assurées de manière fragmentée par différentes filiales régionales, sans coordination à l'échelle mondiale.

Aujourd'hui, la branche M&S occupe une position de premier plan à l'échelle internationale. Elle s'impose comme le 4^{ème} distributeur mondial de lubrifiants terrestres et dispose du premier réseau de distribution en France et en Afrique en nombre de stations-service. Elle s'adresse à une clientèle diversifiée, composée à la fois de professionnels (transport, industrie, agriculture) et de particuliers, mobilisant à cet effet près de 31 000 collaborateurs répartis dans le monde entier.[4]

Avec un réseau d'environ 13 000 stations-service présentes dans près de 100 pays et plus de 90 000 points de recharge pour véhicules électriques, la branche témoigne de l'évolution du groupe vers des solutions énergétiques plus diversifiées et durables. En 2025, les ventes de produits pétroliers ont atteint 1 276 kb/j, tandis que la branche poursuit son déploiement vers la mobilité propre, avec l'objectif d'ouvrir plus de 300 sites multi-énergies en France d'ici 2028.[4]

1.2.3 TotalEnergies Afrique et Moyen-Orient (AMO)

Au sein de la branche M&S, la zone Afrique et Moyen-Orient (AMO) représente un axe stratégique de développement majeur. Divisée en six zones géographiques distinctes, l'Océan Indien, l'Afrique Australe, l'Afrique du Centre et de l'Est, l'Afrique de l'Ouest, le Nigeria ainsi que la Méditerranée et le Moyen-Orient.

Cette région concentre des marchés en pleine expansion, portés par une dynamique démographique et un essor industriel sans précédent. TotalEnergies y est présent dans 41 pays, où il s'est imposé comme le premier réseau de distribution en nombre de stations-service, avec une couverture qui n'a cessé de s'étendre au fil des années.

Sur le plan industriel, la branche M&S s'appuie dans cette zone sur un réseau d'usines de production de lubrifiants déployé progressivement depuis plusieurs décennies. L'usine de Dubaï, en activité depuis 1954, en constitue le socle historique, complétée par l'ouverture successive de nouvelles unités en Égypte en 2012, en Arabie Saoudite en 2013, puis en Algérie en 2020. Cette expansion géographique traduit la volonté du groupe de rapprocher sa production des marchés locaux et de répondre à une demande régionale en forte croissance. Le groupe est par ailleurs devenu un partenaire de référence pour les clients miniers du continent, en leur proposant des solutions intégrées d'approvisionnement et de gestion de carburants et de lubrifiants.[4]

L'Algérie illustre particulièrement bien cette dynamique régionale. Son marché des lubrifiants, stimulé par l'augmentation continue du parc automobile et l'industrialisation progressive du pays, offre des perspectives de développement significatives. C'est dans ce contexte que s'inscrit TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA), filiale locale de la branche M&S et organisme d'accueil du présent travail, dont la présentation détaillée fait l'objet de la section suivante.

1.3 Présentation de l'organisme d'accueil : TotalEnergies à l'échelle nationale

Le groupe TotalEnergies est présent en Algérie en tant que filiale Marketing & Services et Exploration & Production, il s'étend tout au long de la Méditerranée d'Algérie et du Moyen-Orient, ce qui lui permet une couverture de projets énergétiques sur le marché algérien. Il propose une variété de services à une diversité de clients, particuliers et industries, avec des partenaires dans le cadre du développement de ses activités, et une vision d'être parmi les leaders du marché algérien.

Dans une perspective d'élargissement de ses projets, d'innovation, de complémentarité et de création de valeur, TotalEnergies Algérie, un modèle intégré, exerce ses activités aval par TotalEnergies Bitumes Algérie SPA et TotalEnergies Lubrifiants Algérie SPA, opérant respectivement dans la production, transformation et commercialisation des bitumes, tandis que la deuxième s'occupe de la production et de la commercialisation des lubrifiants des marques TotalEnergies et ELF.

1.3.1 Organigramme de M&S Algérie

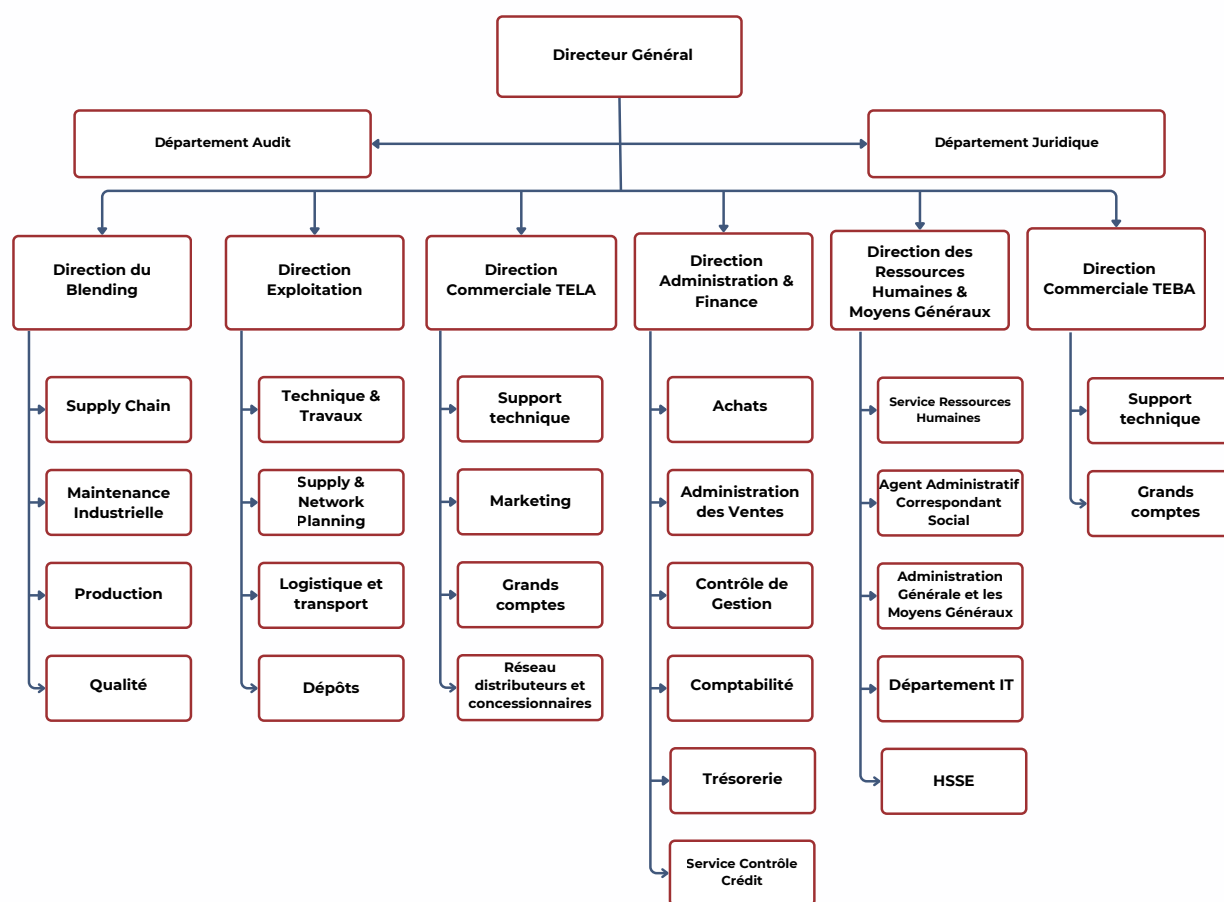


FIGURE 1.4 – Organigramme de M&S Algérie

1.3.2 TotalEnergies Bitumes Algérie et TotalEnergies Lubrifiants Algérie

Le groupe TotalEnergies Algérie est représenté par ses deux filiales : une filiale orientée vers le marché algérien, TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA), et une autre spécialisée industrielle, TotalEnergies Bitumes Algérie (TEBA), jouant un rôle clé dans le développement local. La figure (1.5) représente le positionnement de ces deux dernières dans la structure organisationnelle.

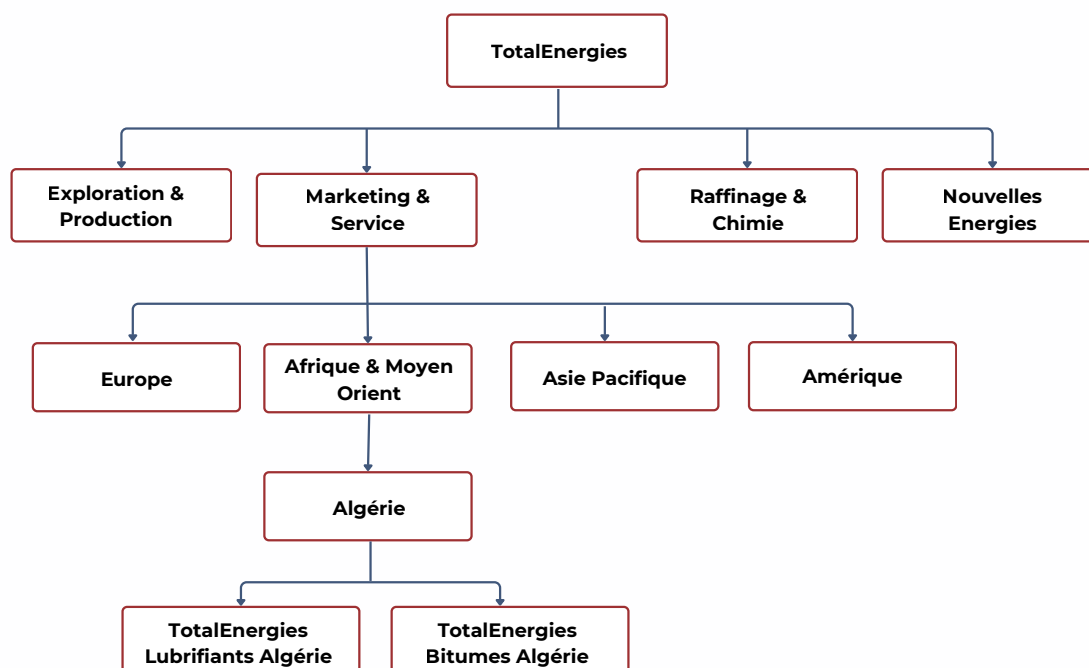


FIGURE 1.5 – Organisation du groupe TotalEnergies en Algérie et positionnement de ses principales filiales

Les filiales de TotalEnergies, TELA et TEBA, disposent d'une structure organisationnelle similaire, reposant sur des fonctions communes comme la logistique, les ressources humaines et la finance. Ce qui diffère, c'est la direction commerciale, chacune possède une segmentation de clients qui doit être adaptée à ses spécificités.

TotalEnergies Bitumes Algérie TEBA

En Algérie, seul le groupe TotalEnergies est présent en tant que compagnie pétrolière spécialisée dans la production et la transformation des bitumes, jouant un rôle très important dans le développement des infrastructures.

Une filiale industrielle spécialisée dédiée au secteur des travaux publics, créée le 8 septembre 1999, et disposant d'une capacité de stockage de 6 000 tonnes, faisant d'elle un acteur majeur des bitumes en Algérie.

TotalEnergies Lubrifiants Algérie TELA

Avec une demande d'huiles de haute performance, une croissance dans le secteur de l'automobile et l'industrialisation, le marché des lubrifiants a connu mondialement une croissance atteignant près de 178 milliards USD en 2025 et devrait atteindre 182,53 milliards USD en 2026 [5].

Cette dynamique a fait émerger une opportunité de croissance sur le marché algérien. Avec d'autres acteurs sur le marché, TotalEnergies s'est implanté en Algérie pour devenir un acteur majeur sur le marché africain, structurant une chaîne de valeur qui permet une proximité avec les clients et une augmentation de sa part de marché.

Depuis 2004, TELA a commencé la commercialisation de ses produits sous les marques Total et ELF, couvrant les besoins des clients, particuliers et industries. À ce jour, cette filiale opérationnelle maintient son excellence et souhaite satisfaire des besoins qui croissent de plus en plus, en investissant dans de nouvelles structures, notamment un dépôt et une unité de conditionnement de lubrifiants d'une surface de 4 000 m².

C'est dans cette filiale que nous avons réalisé notre projet de fin d'études. Un pôle doté de professionnels et d'équipes techniques qui participent à l'excellence et au développement d'une politique de services permettant à ses clients d'être plus compétitifs, tout en s'adaptant aux dernières évolutions technologiques.

1.3.3 Organisation de la Direction Exploitation : l'usine d'Oran et l'entrepôt de Blida

Usine Oran

À partir d'octobre 2020, TotalEnergies dispose d'un site de production de blending dans la zone industrielle de Béthioua à Oran, avec :

- une capacité de production de 40 kt en 1 shift ;
- une capacité de stockage de 900 palettes de produits finis.

Le stockage des produits finis reste une semaine à l'usine d'Oran, couvrant les clients de sa région, puis ils sont acheminés au dépôt de Blida.

Ce site a marqué une évolution pour le modèle d'affaire de TotalEnergies Algérie, étant auparavant un importateur de produits finis. Aujourd'hui, l'entreprise gère une chaîne de valeur allant de l'achat et l'approvisionnement en emballages et en matières premières (huiles de base, additifs), à la production et à la distribution, tout en respectant un plan de production selon les commandes exprimées par la direction commerciale.

L'objectif de ce site est, en premier lieu, d'être un leader sur le marché algérien en ce qui concerne la distribution des produits pétroliers. C'est pourquoi le respect de la réglementation et des standards HSSE participe à l'évolution de son activité ainsi qu'à l'augmentation de son chiffre d'affaires et à la satisfaction de sa clientèle.

Entrepôt de Blida

C'est une plateforme logistique ; elle représente l'entrepôt principal de l'entreprise. Elle s'occupe du stockage, du chargement et du déchargement, ces deux derniers étant réalisés à travers 4 quais.

La gestion du stockage y est assurée dans les meilleures conditions. Il dispose de deux hangars :

- Hangar HADJI : avec une capacité de stockage de 2 600 t, soit 3 700 palettes. Il s'agit d'un stockage en rack.
- Hangar SAFAR : avec une capacité de stockage de 2 800 t, soit 3 500 palettes. Il s'agit d'un stockage en fûts.

La réception journalière des produits est estimée à 250 palettes, tandis que le déchargement atteint jusqu'à 280 palettes par journée.

Blida est le point de distribution des commandes pour les clients du Centre, de l'Est, du Sud et, occasionnellement, d'une partie de l'Ouest.

1.3.4 Les flux physiques entre Oran, Blida et les clients régionaux

Dans le cadre de l'organisation de ses flux logistiques, TotalEnergies met en place une structure logistique rigoureuse de manière à satisfaire ses clients et assurer une continuité entre ses processus, allant de l'achat à la distribution des produits finis.

D'abord, elle réceptionne les matières premières et les emballages, qui sont stockés chez différents prestataires, ainsi qu'un partenariat avec la raffinerie de Sonatrach pour l'approvisionnement de certaines matières. Une fois transférés à l'usine d'Oran, le lancement de la fabrication commence selon des plans préétablis et, à l'issue de la production, un espace de stockage situé sur le site d'Oran, couvrant environ une semaine de stockage, permet de répondre aux besoins de la région Ouest.

Ensuite, les produits sont acheminés à l'entrepôt de Blida, qui assure la distribution vers les clients des régions Centre, Sud et Est, et dans certains cas, de l'Ouest.

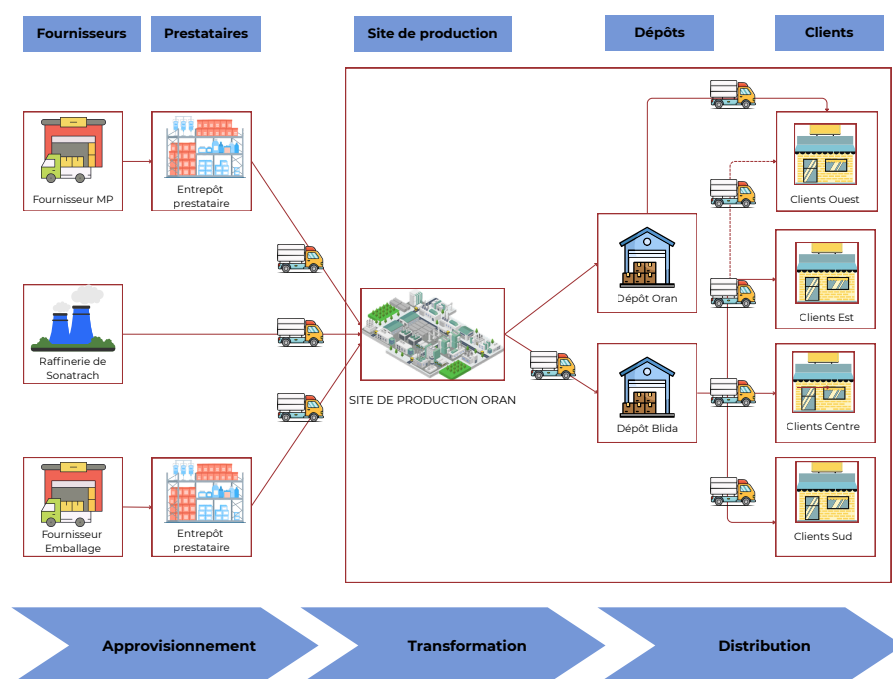


FIGURE 1.6 – Flux logistique TotalEnergies Algérie

1.4 Diagnostic et formulation de la problématique

Afin de bien identifier notre problématique et d'en délimiter le périmètre, nous avons dans un premier temps mené un diagnostic externe. Celui-ci visait à comprendre l'environnement de l'entreprise, notamment le marché, les tendances et la concurrence, à travers l'analyse PESTEL, pour ensuite évaluer l'adaptation de sa stratégie.

Puis, Nous avons réalisé un diagnostic interne afin d'analyser les processus existants tels qu'ils sont et d'évaluer l'organisation opérationnelle dans l'atteinte de ses objectifs, et ce à travers la cartographie des processus en utilisant l'approche process afin de structurer ses activités comme un flux de valeur, puis une analyse par un audit ASLOG afin d'évaluer la performance et la maturité de l'entreprise, et ainsi aboutir à la formulation de la problématique.

1.4.1 Diagnostic externe de TELA

Étant donné que l'entreprise est une multinationale implantée dans plus de 120 pays, elle évolue dans des environnements variés et est exposée à de nombreux facteurs externes, qu'ils soient positifs ou négatifs, susceptibles d'impacter ses opérations.

Dans ce contexte, une analyse PESTEL a été menée afin d'identifier les principales influences externes affectant spécifiquement l'activité de la filiale TELA (TotalEnergies Lubrifiants Algérie). Les facteurs que nous avons analysés dans le tableau 1.1 sont expliqués dans l'annexe 01 **Tableau de l'Analyse PESTEL**

Facteur	Description
Facteurs politiques	Le marché algérien des lubrifiants évolue dans un environnement fortement influencé par les orientations politiques et institutionnelles de l'État. Le secteur énergétique occupe une place stratégique dans l'économie nationale, en raison de son impact sur les recettes budgétaires, les importations et l'équilibre de la balance commerciale. Les activités de TotalEnergies Lubrifiants Algérie sont donc sensibles aux décisions publiques relatives à l'importation, à la distribution des produits pétroliers, aux autorisations industrielles et aux règles encadrant le marché local. Par ailleurs, la politique énergétique nationale, orientée vers la valorisation locale et le renforcement de la souveraineté industrielle, peut favoriser certains investissements mais imposer également des contraintes réglementaires et opérationnelles.
Facteurs économiques	L'environnement économique algérien influence directement la performance de TotalEnergies Lubrifiants Algérie, notamment à travers le niveau d'inflation, l'évolution du taux de change et le pouvoir d'achat des consommateurs. La fluctuation du dinar algérien augmente le coût d'approvisionnement des intrants et peut affecter les marges sur les produits à composants importés. De plus, la hausse des coûts logistiques, des matières premières et de l'énergie exerce une pression sur les prix de vente des lubrifiants. Dans ce contexte, la demande peut être sensible aux variations de prix, en particulier sur les segments les plus concurrentiels du marché.

Facteur	Description
Facteurs sociaux	Les facteurs sociaux influencent la consommation des lubrifiants à travers l'évolution du parc automobile, des habitudes de maintenance et du niveau de sensibilisation à la qualité des produits. La croissance du besoin en mobilité, l'augmentation du nombre de véhicules en circulation et l'exigence croissante des clients en matière de performance et de protection mécanique renforcent l'importance des marques reconnues. En parallèle, les clients deviennent plus attentifs à la disponibilité des produits, à la rapidité de service et à la confiance accordée au fournisseur. La notoriété de la marque et la relation de proximité avec les distributeurs jouent ainsi un rôle important dans la fidélisation.
Facteurs technologiques	Le secteur des lubrifiants est fortement influencé par les avancées technologiques, aussi bien dans la formulation des produits que dans les outils de gestion industrielle et commerciale. L'évolution des moteurs modernes impose le développement de lubrifiants plus performants, répondant à des normes techniques de plus en plus exigeantes. Pour TotalEnergies Lubrifiants Algérie, la maîtrise des procédés de blending local, l'automatisation de certaines opérations, constituent des leviers de compétitivité. L'usage des outils numériques peut également améliorer la traçabilité, la planification et la réactivité face aux fluctuations du marché.
Facteurs environnementaux	Les préoccupations environnementales prennent une place croissante dans le secteur des lubrifiants, en raison des exigences liées à la réduction des pollutions et à la gestion responsable des produits pétroliers. TotalEnergies Lubrifiants Algérie doit respecter des normes strictes en matière de stockage, de manipulation, de transport et de traitement des déchets industriels. La pression exercée par les autorités, les clients et les standards internationaux pousse les entreprises à adopter des pratiques plus durables. Par ailleurs, l'orientation vers des produits plus propres, plus efficaces et mieux adaptés aux exigences environnementales devient un avantage concurrentiel important.
Facteurs légaux	Le cadre légal encadrant le marché algérien des lubrifiants est marqué par plusieurs obligations relatives à la sécurité, à l'environnement, à la fiscalité et à la conformité industrielle. Les entreprises du secteur doivent se conformer aux réglementations en matière d'homologation des produits, de contrôle de qualité, de stockage des matières dangereuses et de protection de l'environnement. TotalEnergies Lubrifiants Algérie doit également respecter les exigences liées aux normes HSE, aux procédures douanières et aux autorisations d'exploitation. Ce cadre réglementaire peut constituer à la fois une contrainte opérationnelle et un facteur de protection contre la concurrence informelle.

TABLE 1.1 – Analyse PESTEL du marché des lubrifiants en Algérie

1.4.2 Diagnostic interne de TELA

Cartographies des processus

Application de l'approche processus au cas de TELA

L'approche processus est une méthode largement utilisée par les entreprises pour comprendre leur fonctionnement, visualiser les interactions entre leurs activités et identifier les processus contribuant à la création de valeur. La présentation détaillée de cette approche ainsi que de ses différentes étapes est présentée en annexe.

Dans notre cas, l'approche processus sera mobilisée principalement pour établir la cartographie des processus existants, identifier le périmètre de l'étude et analyser les processus les plus pertinents. Ainsi, nous nous limiterons à la première étape de cette méthodologie.

Cartographie du niveau 1 :

Étant donné que l'entreprise d'accueil est la filiale TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA), elle sera représentée comme un ensemble de macro-processus.

Cette cartographie est une représentation globale de TELA, illustré par la cartographie de niveau 1, dans la figure 1.7

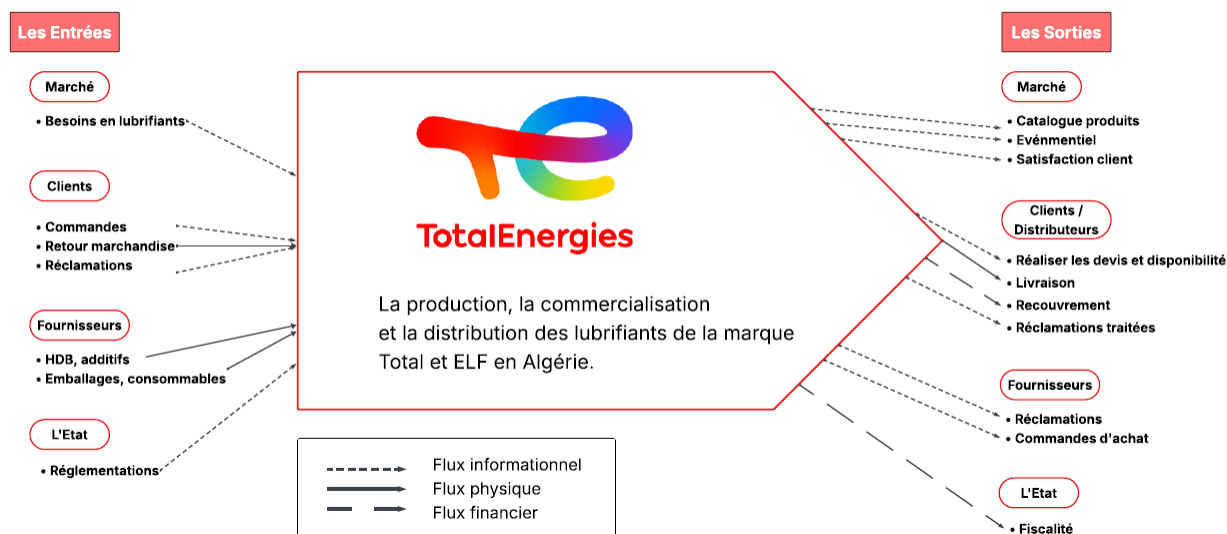


FIGURE 1.7 – Cartographie Niveau 1

Ainsi, pour descendre à un niveau d'analyse plus détaillé et définir les processus les plus importants, nous établissons la cartographie de niveau 2.

Cartographie du niveau 2 :

La cartographie Niveau 2 nous permet de visualiser d'une manière transversale les différents processus de management, opérationnels et de support. Une description de l'état actuel de fonctionnement de chaque processus chez TELA est citée comme suit :

1. Processus de management

1.1. Pilotage et planification : Le comité de direction, présidé par le PDG, garantit la définition de la vision et de la stratégie de l'entreprise à long terme. Il est constitué des cadres dirigeants des différents départements et directions.

Chaque directeur formalise la politique de son département, en adéquation avec la vision et les objectifs stratégiques définis. Elle définit le cadre du travail de chaque collaborateur du département, ses responsabilités, ainsi que les méthodes de travail nécessaires pour exécuter et suivre ses opérations et ses tâches en contribuant à l'efficacité et la qualité des processus et des services.

1.2. Audit interne : L'audit est un processus indépendant dont le rôle principal est d'aider TELA à atteindre ses objectifs. Sa mission principale est l'inspection, l'évaluation de la conformité des différents processus de l'entreprise et la recherche des axes d'amélioration pour renforcer son efficacité et sa performance. Son importance réside dans le fait qu'il veille à assurer à la direction de l'entreprise que les risques qu'elle encourt sont bien gérés et que son dispositif de contrôle interne s'immunise contre les mauvaises surprises.

1.3. HSSE : La sécurité est parmi les valeurs du groupe Total, ce qui fait que TELA travaille énormément sur cet aspect à travers :

- La visite des sites et des chantiers et l'inspection de leurs conformités.
- Les études des sites : études de bruit, études environnementales, etc.
- Le management des équipes pour la vérification des sites.
- Établissement du processus du vetting lors d'un choix du transporteur par exemple.

2. Processus opérationnels

2.1. Achat : Ce processus joue un rôle d'interface entre TELA et les fournisseurs externes (internationaux et nationaux). Il comprend la prospection, la négociation initiale et la sélection des fournisseurs, ainsi que l'établissement des contrats avec eux dans le cadre d'un groupe d'intérêt commun dont TELA fait partie. Il inclut également l'évaluation et le suivi annuel des fournisseurs, l'établissement des ordres d'achat, la gestion des retours fournisseurs, ainsi que la gestion des réclamations.

2.2. Planification et Approvisionnement : Le processus de planification et approvisionnement a pour rôle de contrôler l'ensemble des stocks disponibles ainsi que la consommation des matières premières et des emballages nécessaires à la production de TELA. Il consiste également à planifier les besoins, à les traduire en un Plan de Production (PdP) respectant les capacités des lignes de conditionnement et les formules de mélange de l'usine, à déterminer les quantités à commander, à placer les commandes auprès des fournisseurs et à assurer le suivi des réceptions.

2.4. Production : La production des lubrifiants et des liquides de refroidissement se fait au niveau du Blending situé à Bethioua, Oran. Un lubrifiant est fabriqué principalement à partir de deux matières premières : les Huiles de Base (HDB) et les Additifs, dont les proportions diffèrent d'un produit à un autre.

La direction du blending a comme mission de :

- Établir et exécuter le plan de production selon les besoins transmis par la direction d'exploitation.
- Fabriquer un produit conforme répondant aux exigences du client final.
- Assurer le conditionnement et le stockage du produit fini au niveau du blending dans les meilleures conditions.
- Préserver l'environnement et assurer la sécurité des installations et des personnes.

Après la réception des HDB et des additifs, ces derniers sont stockés dans des bacs puis mélangés pour former le produit fini, qui sera ensuite conditionné en fûts ou en bidons.

2.4. Commercial : Les missions principales de ce processus sont :

- Business development : évaluation du marché, prospection des clients, négociation commerciale et élaboration de la stratégie commerciale.
- Les ventes : réalisation des ventes, gestion des distributeurs (force de vente), fixation des objectifs commerciaux et suivi de leur réalisation.
- Sales analyst : suivi des ventes de TELA et de ses distributeurs, analyse des signaux du marché et leur transformation en opportunités commerciales.
- Support technique : identification des besoins clients et formation et accompagnement technique des clients.

2.5. Logistique et transport : Ce processus assure :

- La logistique amont : réception et stockage des matières premières et composants ainsi que la gestion des sous-traitants logistiques de stockage.
- La logistique interne : transfert inter-sites et inter-divisions (production et logistique), gestion des stocks.
- La logistique et distribution : préparation, contrôle, expédition et gestion des dépôts.

3. Processus de support

3.1. Finance : Ce processus s'occupe de l'évaluation de la performance financière de TELA et de l'établissement du budget. Il assure le contrôle de gestion de ses opérations et veille à l'équilibre des comptes de l'entreprise et garantit le paiement des fournisseurs ainsi que l'encaissement des créances clients.

3.2. Système information/IT : Le processus assure le suivi du système d'information SAP ainsi que la gestion et la maintenance du matériel informatique. L'équipe SI prend en charge la formation des utilisateurs. Elle accompagne également les autres départements dans la résolution de leurs problématiques matérielles et logicielles, garantit le bon fonctionnement du système d'information (SAP) et accompagne la transformation digitale de l'entreprise.

3.3. Ressources humaines : Le processus assure :

- Gestion de la paie : calcul des salaires, des absences et des primes.
- Recrutement : gestion du processus de recrutement dans son ensemble.
- Développement des talents : mise en place de plans de carrière et suivi des collaborateurs.
- Formation : recherche et accord avec des centres de formation, planification des formations, évaluation du contenu et de la qualité des formateurs.
- Le processus assure également le support RH concernant les avantages sociaux.

La figure 1.8 représente la cartographie de niveau 2 des processus de TELA que nous avons établi :

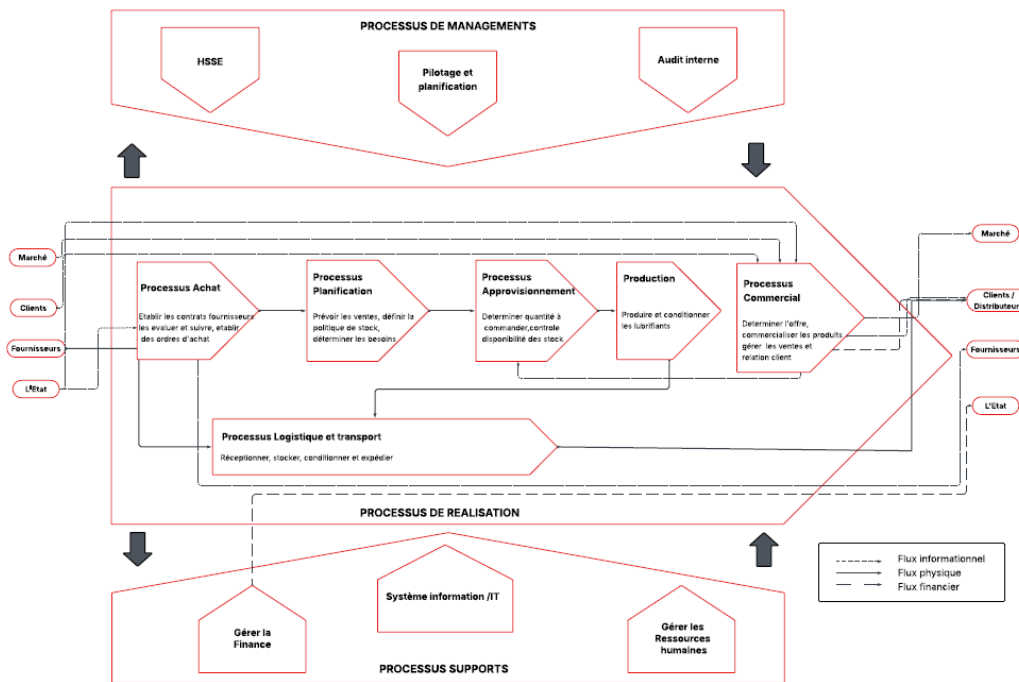


FIGURE 1.8 – Cartographie Niveau 2

Cartographie du niveau 3 :

Pour la cartographie de niveau 03, nous nous intéressons au processus opérationnel de planification afin de bien cerner l'environnement exacte dans lequel nous agissons. Une fois le processus schématisé, nous aborderons les dysfonctionnements identifiés.

La figure 1.9 représente la cartographie de niveau 3 des processus de TELA que nous avons établi :

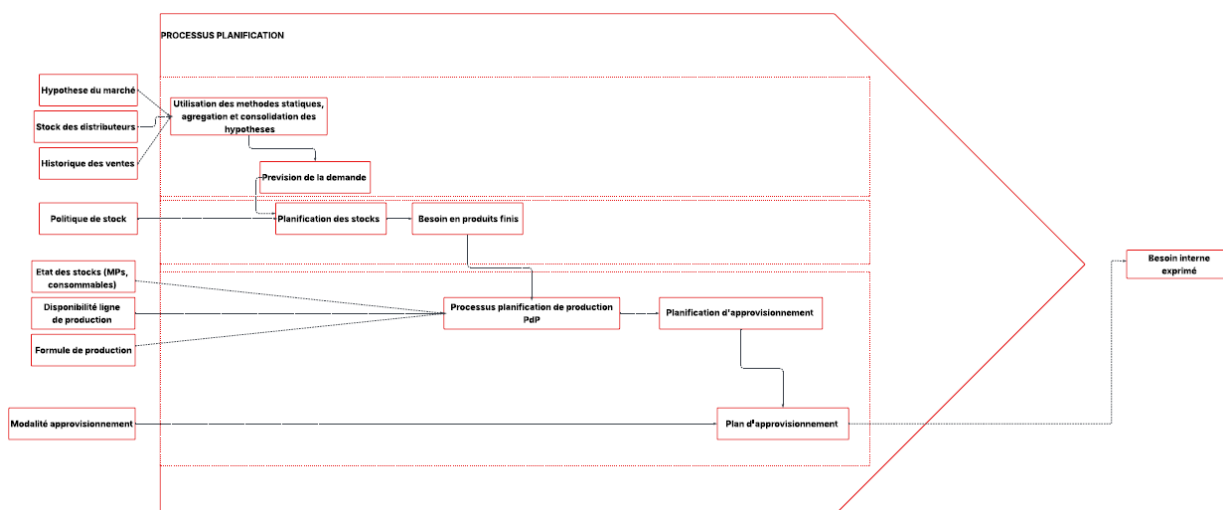


FIGURE 1.9 – Cartographie Niveau 3

Audit Logistique

Le choix du référentiel : Parmi les différents référentiels disponibles, notamment SCOR, Evalog et Supply Chain Meter, nous avons retenu le référentiel ASLOG. Ce choix s'explique par sa capacité à quantifier la performance de la supply chain (intégrant l'organisation, les processus

et les outils), par sa facilité de mise en application, par la clarté du système de notation ainsi que par la possibilité d'utiliser uniquement quelques chapitres nécessaires selon les besoins de l'entreprise, afin de concilier la disponibilité des produits, la satisfaction client et la maîtrise des coûts de stockage.

Le tableau 0.17 en annexe comporte une analyse comparative des référentiels.

Les chapitres du référentiel ASLOG que nous avons retenus sont :

- Chapitre 01 : Management, stratégie et planification
- Chapitre 06 : le stockage

Notre choix s'est motivé par le fait que, par le biais de ces chapitres, nous pouvons nous focaliser sur le management logistique et le fondement stratégique de l'entreprise. Ils permettent également d'évaluer si les conditions organisationnelles actuelles sont capables d'adapter les solutions proposées, d'assurer leur pérennité et de vérifier si elles sont susceptibles de soutenir une logistique performante, tout en quantifiant les pratiques opérationnelles de stockage.

Déroulement de l'audit Notre démarche d'audit s'est déroulée selon 03 phases.

1. Phase 01 : Préparation

Durant cette phase, nous avons commencé par élaborer un guide d'entretien incluant les questions issues du référentiel, fondées sur les 02 chapitres choisis, ainsi que la logique et le système d'évaluation selon les principes de l'ASLOG. Nous avons également défini le périmètre en identifiant les mots clés pour bien cadrer les principaux points à aborder, puis nous avons repéré les interlocuteurs clés sur les deux sites.

2. Phase 02 : Réalisation

À cet effet, nous avons mené des points avec les personnes concernées dans des conditions de transparence et d'objectivité. Nous nous sommes également déplacés sur le site de stockage de Blida afin d'obtenir une vision claire et de mieux comprendre les flux liés aux processus de stockage. En plus des interviews, nous avons pris des notes lors de nos visites terrain afin de mieux évaluer le processus. Pour le site de production d'Oran, des informations complémentaires ont été recueillies par notre encadrant. À la fin de cette phase, nous avons pu disposer de toutes les informations dont nous avons besoin.

3. Phase 03 : Présentation des résultats

Au cours de cette phase, l'évaluation de chaque question a été faite sur la base des principes du référentiel. À partir des informations collectées, une justification a été documentée pour chaque note. Des dysfonctionnements ont été identifiés, et un rapport a été soumis à l'équipe logistique. La note est basée sur le système cumulatif de l'ASLOG. La notation s'articule autour de 3 dimensions : la performance, le risque et la méthode. Pour obtenir le niveau 2, le niveau 1 doit être acquis ; pour obtenir le niveau 3, les niveaux 1 et 2 doivent l'être. Le score global est exprimé en pourcentage et positionné sur l'échelle ASLOG

- < 50 % : non cotée ;
- 50–65 % : passable ;
- 65–80 % : bonne ;
- > 80 % : excellente.

La figure 1.10 illustre la manière dont les réponses aux questions ont été consignées.

 Chapitre 1. Management, stratégie et planification	
1.1 Prise en compte de la logistique dans le management par la direction générale	
	1.1.1 Comment la démarche logistique est-elle intégrée au sein de l'entreprise ? 1.1.2 Comment la logistique est-elle prise en compte dans l'élaboration de la stratégie d'entreprise ?
1	fondamentaux Les processus logistique sont identifiés, transversaux et reconnus par tous les niveaux de l'organisation Les postes des coûts logistiques sont identifiés et intégrés dans les objectifs budgétaires. Les éléments du service à apporter aux clients sont élaborés par rapport à la situation du marché.
2	Bonnes pratiques La remise en cause permanente de l'organisation logistique et de sa performance est une pratique courante comprise de tous. Les éléments constituant la démarche logistique sont contrôlés et participent à l'élaboration de la stratégie. Pour les grandes décisions que doit prendre l'entreprise, une étude de leurs conséquences logistiques (service, stocks, transport, flexibilité, ...) est systématiquement menée avec soin.
3	Excellence La Direction Générale s'engage dans la mise en oeuvre des pratiques logistiques nécessaires à l'entreprise en définissant la politique adaptée à son marché, en fixant les objectifs, en mettant à disposition les ressources nécessaires et en menant les revues de direction sur ces sujets. Un Directeur Logistique assume un rôle d'interface entre les différents services de l'entreprise et les membres du comité stratégique ou de décision.
EVALUATION 3 2	
Commentaire	les processus logistiques sont formellement identifiés et reconnus, et une remise en cause permanente est engagée avec des plans d'amélioration documentés. l'absence d'un Directeur Logistique formellement membre du comité stratégique. La logistique est bien un pilier, mais elle n'est pas encore portée au niveau du comité de direction en tant que fonction représentée.
Points forts	existence de projets stratégiques concrets (investissements en chariots, projets de localisation d'entrepôts avec prestataires 3PL, solutions digitales TMS, sécurisation du nombre de prestataires transport) ; bonne reconnaissance transversale des processus. revues régulières, KPI suivis, lien fort entre besoins clients et orientations logistiques.

FIGURE 1.10 – Audit Logistique ASLOG (Totalenergies)

Résultat de l'audit

a. Chapitre 01 : Management, stratégie et planification

La logistique repose sur un alignement stratégique et une intégration complète et ne se limite pas aux seuls processus opérationnels, elle offre une vision permettant de passer d'une organisation en silos à une organisation qui encourage le partage et l'amélioration continue. Ainsi, la logistique constitue une fonction jouant un rôle de levier qui coordonne les différents flux physiques et d'informations. C'est pourquoi ce chapitre a été pris en considération, autour de la question suivante :

La logistique au sein de TELA est-elle prise en compte dans les décisions stratégiques ?

Le tableau 0.15, présenté en Annexe 1, synthétise les principaux résultats du Chapitre 1.

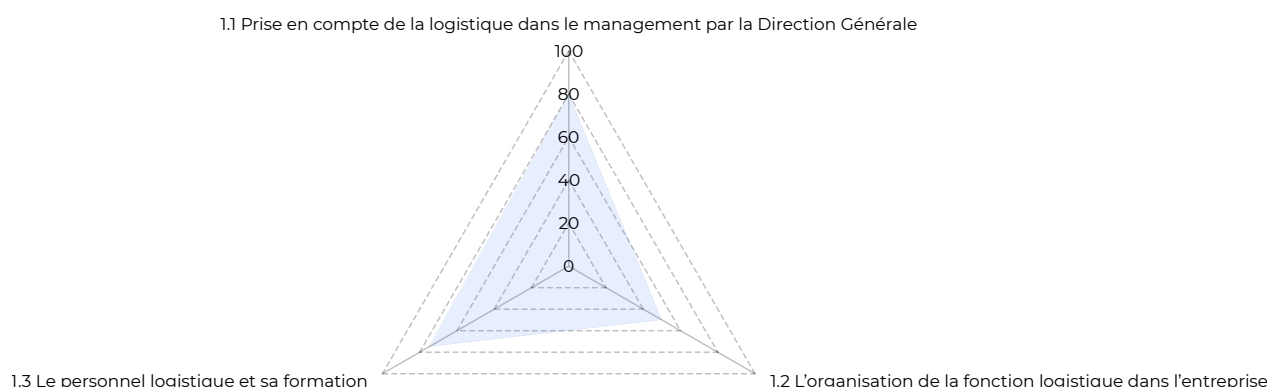


FIGURE 1.11 – Graphique des résultats du chapitre 1 : Management, Stratégie et Planification

Justification des résultats : Avec un taux de performance global de 69 % (27/39 points), la démarche adoptée selon le référentiel est une démarche de progrès. L'entreprise a su à ce jour montrer des pratiques logistiques structurées au niveau des procédures et de la coordination interservices, mais elles restent encore insuffisantes pour atteindre un niveau de maturité avancé.

Pendant nos entretiens d'audit, nous avons identifié quelques points qui participent à ce score, notamment :

- La direction générale s'engage dans la mise en œuvre des projets logistiques, notamment :
 1. l'investissement dans l'achat de chariots,
 2. des projets de localisation d'entrepôts dans d'autres zones avec des prestataires 3PL,
 3. l'investissement dans des solutions digitales TMS,
 4. la sécurisation du nombre de prestataires pour sécuriser le transport
 5. l'amélioration du taux de remplissage transport/livraison,
 6. le changement de conditionnement des MP (formats plus grands), ainsi que la révision des prix des prestataires.
- La satisfaction client est un principe de l'entreprise et une préoccupation, de l'adaptation de la flotte à la planification des livraisons. Un service client est chargé de la mesure de la performance à travers des sondages, des KPI (CSL, taux de satisfaction), ainsi qu'une gestion des réclamations et des revues dans le cadre d'amélioration.
- Une culture de valorisation de l'employé est au cœur de l'entreprise, et une communication inter-sites est disponible entre les employés, ce qui facilite le partage d'information et l'adaptation aux situations.
- Des plans de développement et de formation sont proposés aux employés pour assurer la pérennité et l'excellence des collaborateurs.
- Absence d'une base de données contenant le savoir-faire et les compétences du personnel.
- Absence de gammes au niveau du service de production et de gammes logistiques structurées et formalisées avec des indicateurs de productivité associés.

b. Chapitre 06 : Le stockage

Afin de faciliter la lecture des conclusions du sixième chapitre, une synthèse des principaux résultats est présentée dans le tableau 0.16, figurant en Annexe 1.

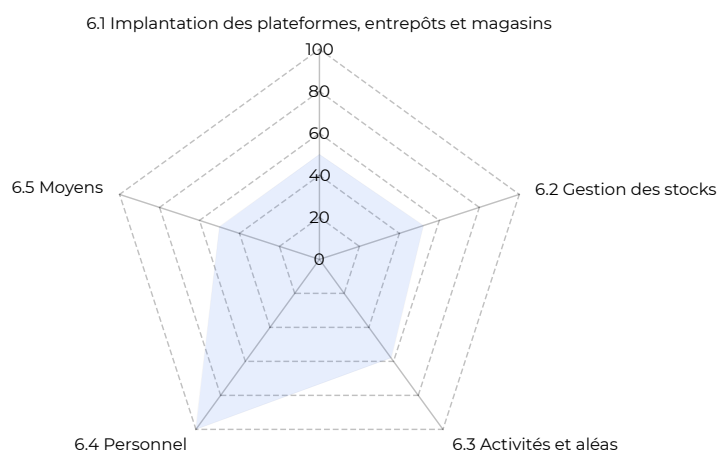


FIGURE 1.12 – Graphique des résultats du chapitre 6 : Le stockage

Justification des résultats : En menant un audit au niveau du stockage, le premier objectif est d'évaluer les pratiques opérationnelles de gestion des stocks. Un résultat de (56%) de niveau

passable selon le principe de l'ASLOG nécessite des démarches basiques (fondamentales), mais avant d'anticiper les solutions, il nous faut bien comprendre les constats :

- Une disposition des produits est organisée selon une logique de taux de rotation. Une classification ABC permet de gérer les placements des produits au niveau des dépôts. Ceci permet de positionner les SKU à forte vélocité dans les zones les plus accessibles, améliorant la fluidité et réduisant les temps de picking.
- Le respect de la gestion FEFO (First Expired First Out) est assuré lors du picking des commandes, avec des inventaires journaliers pour un suivi permanent garantissant la conformité et la traçabilité. Cependant, un écart a été observé, le rangement des produits en racks (ou en fûts) ne respecte pas les règles FEFO. Si cela n'est pas contrôlé par les manutentionnaires, la gestion FEFO lors du picking peut être mal respectée.
- Les règles de sécurité sont au cœur de l'organisation du site avec un management visuel à travers l'ensemble de l'espace, mettant en avant les 12 règles d'or de TotalEnergies, des règles de sécurité propres au site, etc., pour une meilleure sensibilisation aux bonnes pratiques pour l'ensemble des opérateurs.
- Les chariots élévateurs sont bridés à 7 km/h pour éviter tout accident, témoignant d'un engagement en matière de sécurité opérationnelle.
- Une démarche de kaizen est déployée sur le site, incarnant une culture d'amélioration continue portant sur plusieurs axes, notamment :
 - o Management visuel HSSE du site ;
 - o Les quais de chargement et de déchargement ;
 - o L'entretien et le nettoyage des engins de manutention (GE) ;
 - o Les démarches de sustainability alignées avec la stratégie globale de l'entreprise, avec un tri des déchets.

Synthèse de l'audit logistique

Chapitre	Résultats	Evaluation	Démarche logistique
Management, stratégie et planification	69 %	Bonne	Démarche de progrès
Stockage	56 %	Passable	Démarche basique, fondamentale
Note totale			62,5%

TABLE 1.2 – Synthèse de l'audit logistique

Notes	Chapitre 1	Chapitre 2	Total
0	15%	6%	10,5%
1	8%	38%	23%
2	31%	37%	34%
3	46%	19%	32,5%

TABLE 1.3 – Statistiques de l'audit logistique

1.4.3 Analyse SWOT

Une fois les diagnostics internes et externes effectués, on les synthétise sous forme de la matrice SWOT qui permet de mettre en perspective toutes les données externes et les données internes liées à l'entreprise.

Le résultat de l'analyse SWOT que nous avons établi est représenté dans la figure 1.13 :

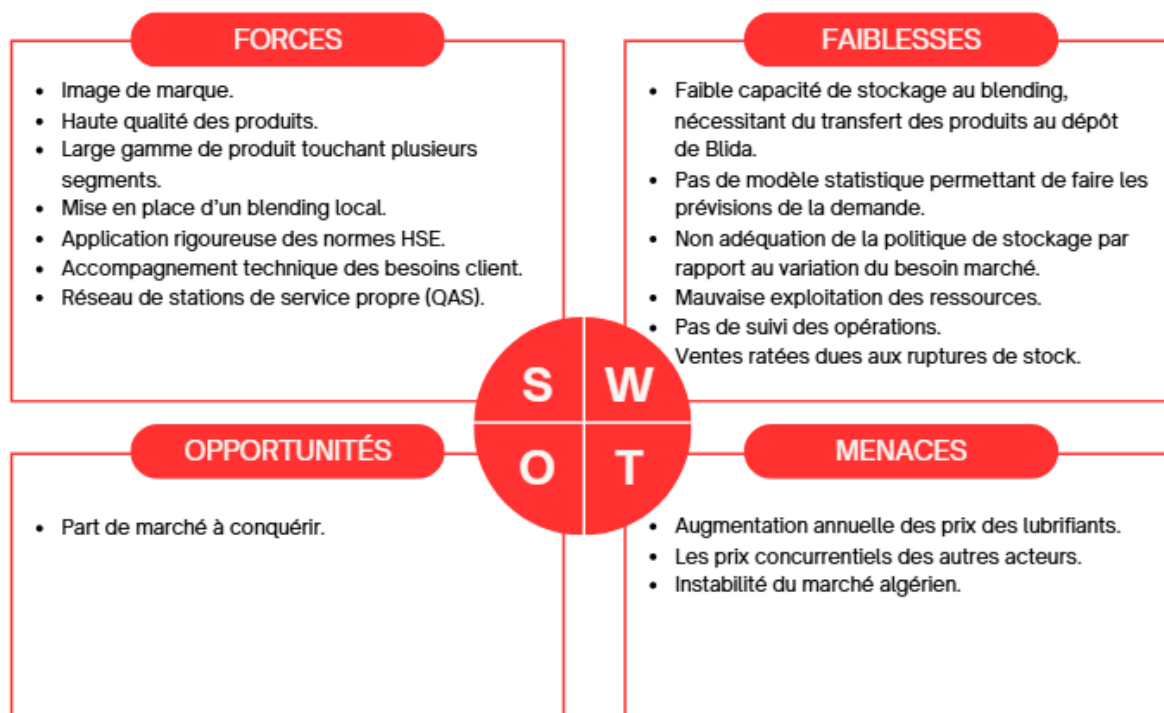


FIGURE 1.13 – Matrice SWOT

1.4.4 Analyse des données des ventes

Afin de compléter l'analyse menée jusqu'ici et d'ancrer davantage notre diagnostic dans la réalité opérationnelle de TELA, nous avons exploité les données de ventes disponibles couvrant la période 2023–2025. Cette analyse nous permet de caractériser la structure commerciale de l'entreprise, d'identifier les tendances de fond et de mieux comprendre les dynamiques qui sous-tendent les dysfonctionnements constatés lors de l'audit.

Évolution des volumes et du chiffre d'affaires

La figure 1.14 illustre l'évolution conjointe des volumes facturés, exprimés en tonnes nettes, et du chiffre d'affaires généré par les ventes sur les exercices 2023, 2024 et 2025. On observe une croissance soutenue et continue sur l'ensemble de la période, avec une augmentation cumulée des volumes de près de 77 % sur la période étudiée. Cette progression des volumes s'accompagne d'une hausse parallèle du chiffre d'affaires, traduisant une dynamique commerciale globalement favorable pour TELA sur cette période.

Cependant, cette croissance rapide des volumes constitue précisément l'un des facteurs aggravants des tensions logistiques identifiées. Une demande en expansion soutenue, combinée à des pratiques de prévision et de gestion des stocks insuffisamment adaptées, accentue les déséquilibres opérationnels.

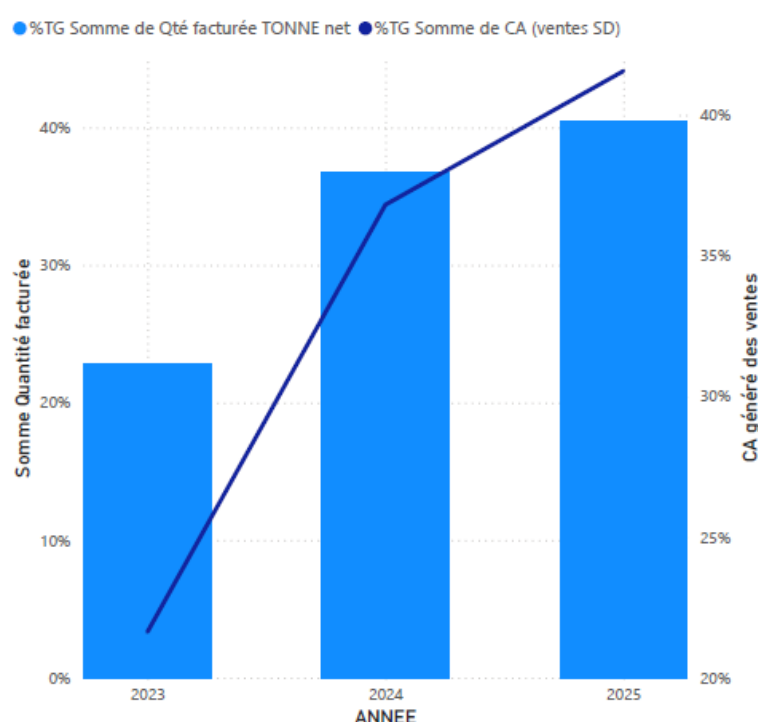


FIGURE 1.14 – Évolution annuelle des volumes facturés (tonnes nettes) et du chiffre d'affaires de TELA (2023–2025)

Structure des ventes par canal de distribution

La figure 1.15 présente la répartition du chiffre d'affaires et des volumes facturés par canal de distribution, en distinguant les deux sites de distribution, H032 (dépôt de BLIDA) et HB83

(usine de bending à ORAN). Cette analyse révèle une forte concentration des ventes sur le canal VI AUTO (Ventes Indirectes Automobile), qui représente de loin le premier canal en termes de chiffre d'affaires et de volumes, suivi à distance par le canal VI INDUS (Ventes Indirectes Industrie), puis par les canaux VD (Ventes Directes), OEM et QAS (Quick AUTO service), dont les contributions restent marginales.

Cette structure de ventes fortement concentrée sur un seul canal soulève plusieurs enjeux pour la gestion de la supply chain. D'une part, la dépendance vis-à-vis du canal VI AUTO expose TELA à une forte sensibilité aux fluctuations de la demande automobile, dont le comportement saisonnier est prononcé. D'autre part, la coexistence de canaux aux dynamiques très différentes complique la définition d'une politique d'approvisionnement uniforme et plaide en faveur d'une segmentation différenciée de la gestion des stocks selon les canaux et les familles de produits.

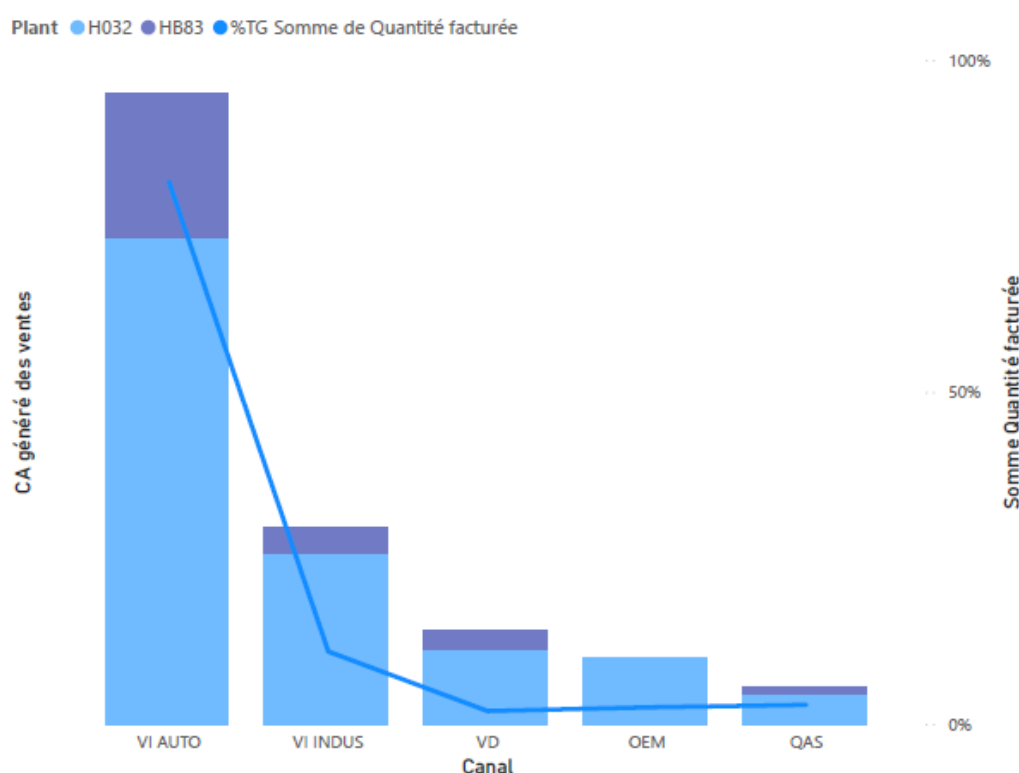


FIGURE 1.15 – Répartition du chiffre d'affaires et des volumes facturés par canal et site de distribution (2023–2025)

Cette instabilité de la demande, mise en évidence par l'analyse des données commerciales, se répercute directement sur le processus d'approvisionnement, point particulièrement critique au sein de TELA dont les dysfonctionnements, induits par la forte variabilité de la consommation, peuvent être mesurés à travers l'évolution chronologique des niveaux de stock sur la période 2023–2025.

Cependant, l'analyse de l'évolution du marché met en évidence une transition progressive du cycle de vie des produits, passant par des phases d'expansion pour atteindre une phase de stabilisation. Ce passage vers une stabilisation apparente de la demande implique une nécessaire adaptation du système d'approvisionnement, afin de l'aligner avec cette nouvelle dynamique.

En effet, un taux significatif de ruptures de stock ainsi que de situations de surstock a été enregistré au cours des trois dernières années, ce qui souligne la nécessité d'un meilleur alignement des pratiques d'approvisionnement avec la dynamique réelle de consommation.

Cette situation est illustrée à travers La figure 1.16, mettant en évidence les écarts les plus marqués pour certains produits parmi les plus significatifs.

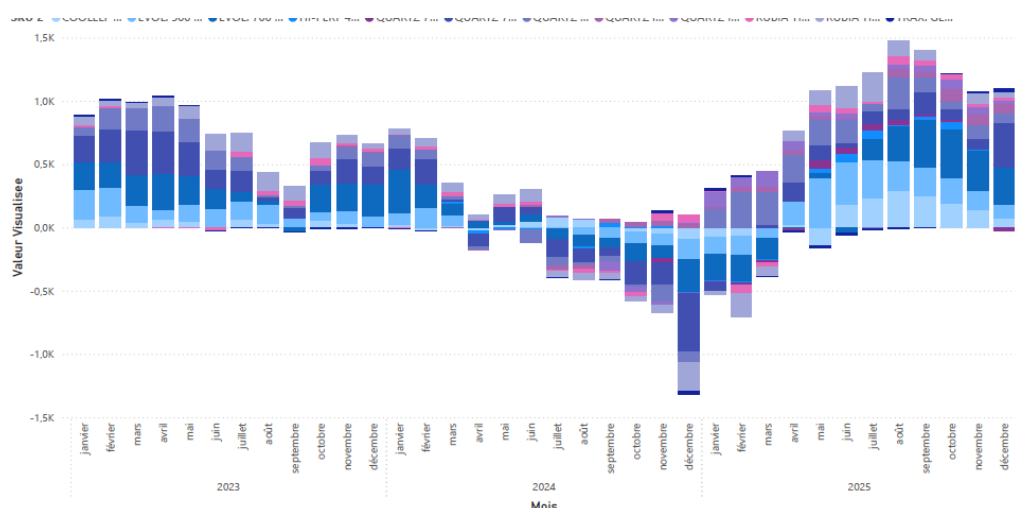


FIGURE 1.16 – Evolution chronologique du surplus/rupture de stocks de certains produits les plus significatifs entre 2023 et 2025

Afin d'approfondir cette analyse, nous avons analysé les données de l'entrepôt principal de Blida sur la période mai–décembre 2025, couvrant le taux d'occupation physique du stock, les niveaux de commandes, la disponibilité et les ventes réalisées.

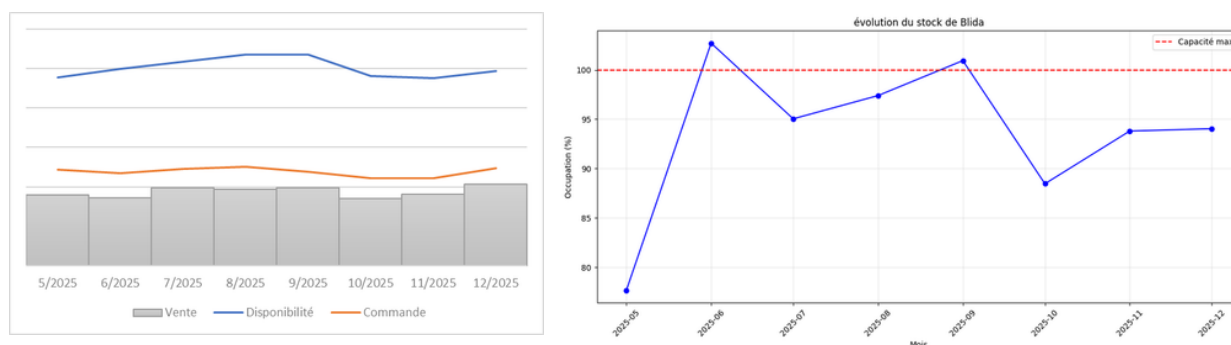


FIGURE 1.17 – Évolution du taux d'occupation et des flux commerciaux sur la période mai–décembre 2025

Ce que nous remarquons à partir de ce premier graphique est un dépassement de stockage (surstock). L'entrepôt oscille à un niveau de stock allant de 89 % à 104 % sans atteindre un niveau de sécurité confortable. Cette situation peut provoquer une saturation des zones de picking et une difficulté de réception de nouveaux produits finis, allant jusqu'à la diminution de la productivité des manutentionnaires.

De l'autre côté, on remarque des écarts importants entre les ventes et les disponibilités et, bien que la disponibilité soit stablement élevée, les commandes ne sont pas satisfaites à 100%, présentant des manques à gagner, justifié par une disponibilité de produits non demandés.

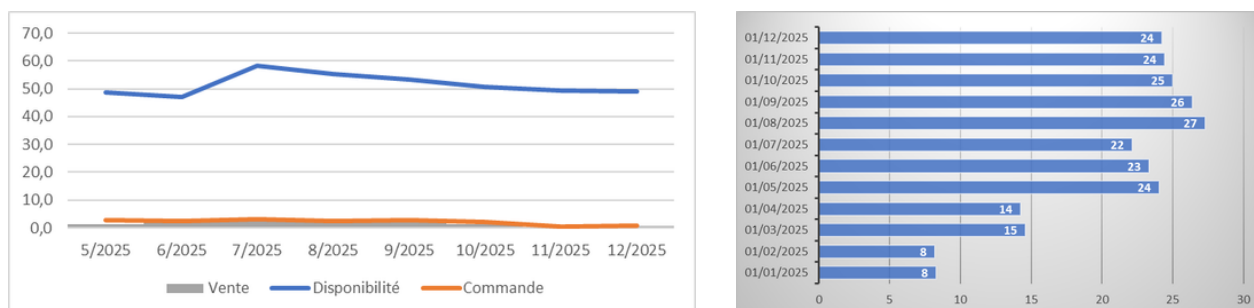


FIGURE 1.18 – Illustration du déséquilibre offre/demande : couverture excessive et stagnation des ventes d'un produit à faible rotation

En ce qui concerne ce dernier graphique, qui montre le cas d'un produit représentatif des déséquilibres constatés, on observe une disponibilité stable, des commandes et des ventes quasi nulles. Ce produit couvre plusieurs dizaines de semaines de demande pour une demande qui n'est pas aussi importante. Ce cas engendre une immobilisation financière significative ; pourtant, l'entreprise maintient toujours un niveau de disponibilité sans aucune justification, ce qui reflète un manque de révision des paramètres de stock.

Dysfonctionnements détectés :

À travers le diagnostic mené au sein de TELA, nous avons identifié certains dysfonctionnements affectant à la fois le taux de service de l'entreprise et des immobilisations importantes.

1. L'absence d'alignement entre la constitution du stock et la demande réelle : l'analyse des stocks a soulevé un surstock structurel touchant plusieurs SKU, y compris les articles à faible rotation, entraînant des occupations importantes dans le dépôt, allant jusqu'à des débordements hors de la zone de stockage dédiée à Blida. Les approvisionnements se poursuivent continuellement, ce qui entraîne une désynchronisation entre la demande réelle du marché et les flux entrants. Ce dysfonctionnement traduit une désorganisation opérationnelle.
2. Une méthode de prévision insuffisante face à la complexité de la demande : les méthodes de prévision sont principalement basées sur la moyenne historique des ventes réalisées et des jugements d'experts, sans recours à des modèles statistiques. Cette méthode s'avère inadéquate dans un secteur avec une tendance marquée et une forte saisonnalité, où les séries ne suivent pas des évolutions maîtrisées et stables, affectant l'indicateur de forecast accuracy ainsi qu'une mauvaise gestion des disponibilités et un manque de réactivité aux changements récents. En amont, elle affecte directement la capacité de l'entreprise à maintenir un taux de service satisfaisant et génère des déséquilibres dans la gestion des stocks.

Pour identifier les causes racines de ces dysfonctionnements et aller au-delà des observations, une analyse des 5 pourquoi a été menée pour ces derniers.

Dysfonctionnement 1 : Saturation de l'entrepôt de Blida	
Pourquoi 1	Les stocks entrants dépassent la capacité physique disponible de l'entrepôt avec un taux d'occupation moyen de XX% en 2025
Pourquoi 2	La production et les livraisons des produits finis ne sont pas alignées avec la demande réelle
Pourquoi 3	Aucun seuil d'alerte n'est configuré pour signaler un remplissage critique
Pourquoi 4	Les approvisionnements sont déclenchés sans tenir compte de la capacité réelle de l'entrepôt
Pourquoi 5	L'entreprise ne dispose pas d'une politique de stock formalisée liant les décisions d'approvisionnement à la capacité de stockage
Dysfonctionnement 2 : Absence de prévision fiable de la demande	
Pourquoi 1	Les ventes réelles par région et par produit ne sont pas analysées pour anticiper la demande future
Pourquoi 2	Il existe uniquement une méthode classique de prévision (la moyenne)
Pourquoi 3	L'historique des ventes est disponible mais n'est pas exploité à des fins de prévision
Pourquoi 4	Les équipes ne sont pas formées aux méthodes de prévision (lissage, régression...)
Pourquoi 5	La prévision de la demande n'est pas reconnue comme un processus stratégique par la direction

TABLE 1.4 – Analyse des causes par la méthode des 5 Pourquoi

1.5 Enoncé de la problématique

Le diagnostic mené au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie a permis de réaliser une analyse de la situation actuelle de l'entreprise, aussi bien sur le plan externe qu'interne.

D'un côté, l'analyse PESTEL révèle un marché des lubrifiants en Algérie en pleine structuration, porteur d'opportunités, mais soumis à une instabilité et à une concurrence croissante.

De l'autre côté, le diagnostic interne met en évidence des dysfonctionnements :

- un surstock structurel saturant l'entrepôt de Blida ;
- des ruptures de stock récurrentes sur certaines références ;
- une méthode de prévision de la demande insuffisante face à la complexité et à la variabilité.

Ces constats convergent vers un déséquilibre fondamental entre l'offre et la demande, amplifié par l'absence d'outils statistiques de prévision adaptés. Ainsi, la maîtrise de la demande et l'optimisation des disponibilités deviennent des enjeux stratégiques pour la compétitivité et la pérennité de l'entreprise.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la problématique centrale de notre travail :

Comment améliorer la maîtrise de la demande et la gestion des disponibilités au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie, afin de réduire les déséquilibres entre l'offre et la demande et d'optimiser la performance de sa chaîne d'approvisionnement ?

Cette problématique centrale se décline en trois sous-questions auxquelles ce travail s'attachera à répondre :

1. **Comment modéliser le comportement de la demande des produits afin de produire des prévisions fiables sur un horizon de moyen à long terme ?**
2. **Quelle politique de stock adopter pour chaque catégorie de produits, de manière à garantir un niveau de service satisfaisant ?**
3. **Comment dimensionner les paramètres d'approvisionnement (stocks de sécurité et points de commande) en cohérence avec les prévisions établies et les contraintes opérationnelles de TELA ?**

Conclusion

Le présent chapitre a posé le contexte de notre travail. À travers une présentation du groupe TotalEnergies à l'échelle mondiale et nationale, nous avons situé notre organisme d'accueil, TotalEnergies Lubrifiants Algérie, dans sa structure organisationnelle.

Le diagnostic conduit selon une approche structurée a permis d'évaluer de manière objective la maturité logistique de TELA et d'identifier ses principaux dysfonctionnements. L'analyse des données de ventes sur la période 2023–2025 est venue compléter ce diagnostic en révélant des déséquilibres concrets entre la demande réelle du marché et les flux d'approvisionnement.

L'ensemble de ces observations a conduit à formuler une problématique articulée autour de trois sous-questions. Ces dernières structurent la démarche de résolution qui sera développée dans les chapitres suivants.

Chapitre 2

État de l'art : Fondements théoriques de la prévision, de la gestion des stocks et de la supply chain dans le secteur des lubrifiants

Introduction

Ce chapitre vise à fournir une compréhension globale des concepts théoriques sous-jacents à notre étude. Nous commencerons par explorer la notion de supply chain et l'importance d'une adéquation entre la stratégie d'entreprise et la stratégie de la chaîne d'approvisionnement. Nous expliquerons ensuite pourquoi le secteur des lubrifiants, et plus particulièrement le contexte de TotalEnergies en Algérie, impose le recours à une supply chain réactive, avant d'établir le lien entre cette réactivité et les deux leviers centraux de notre étude : la prévision de la demande et la gestion des stocks.

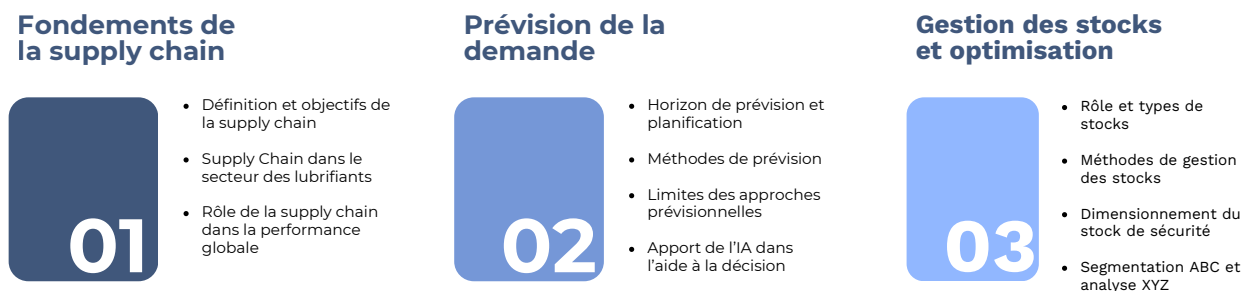


FIGURE 2.1 – Vue d'ensemble de la démarche et de l'organisation du chapitre 2

2.1 Concepts liés à la supply chain

2.1.1 Définition de la supply chain

Selon Chopra & Meindl (2016), la supply chain désigne l'ensemble des parties impliquées, directement ou indirectement, dans la satisfaction d'une demande client, incluant les fabricants, fournisseurs, transporteurs, les entrepôts, distributeurs et les clients eux-mêmes.[6]

Cette définition rejoint celle du Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), qui étend la notion à la planification et à la gestion de l'ensemble des activités liées à l'approvisionnement, à la transformation et à la logistique, ainsi qu'à la coordination avec les partenaires externes. Dans un contexte industriel tel que celui des lubrifiants, cette coordination prend une dimension stratégique particulière, eu égard à la volatilité de la demande et aux contraintes logistiques multi-sites propres à ce secteur.[7]

Au-delà de cette définition, la supply chain recouvre, au sein de chaque organisation, un spectre fonctionnel large : le développement de nouveaux produits, le marketing, les opérations, la distribution, la gestion des stocks, les finances et le service client. Sa mission fondamentale est de gérer de bout en bout les flux, y compris ceux de produits, d'informations, d'infrastructures physiques et d'organisations humaines, et ce, depuis les fournisseurs jusqu'au client final.

Pour qu'une entreprise réussisse dans cet environnement, il est essentiel d'assurer une synergie entre sa stratégie concurrentielle et sa stratégie de supply chain. Ces deux stratégies doivent converger vers un objectif commun : atteindre une cohérence parfaite entre les besoins des clients, que la stratégie concurrentielle cherche à satisfaire, et les capacités de la chaîne d'approvisionnement, que la stratégie supply chain s'efforce de développer. Chopra et Meindl identifient à cet égard trois étapes nécessaires pour garantir cette adéquation stratégique [6] :

1. La compréhension de l'incertitude : identifier l'incertitude qui pèse sur la demande client et sur la chaîne d'approvisionnement afin de définir les niveaux de coût et de service cibles.
2. Le design de la supply chain : définir la configuration optimale des réseaux de production et de distribution, sélection des fournisseurs, localisation des entrepôts, gestion des flux, et ce, dans le but de maximiser l'efficacité tout en minimisant les coûts.
3. L'adéquation stratégique : si un désaccord subsiste entre les capacités de la chaîne et les besoins des clients, l'entreprise devra soit restructurer sa supply chain pour l'aligner sur sa stratégie concurrentielle, soit réviser cette dernière.

Dans un environnement économique de plus en plus compétitif, le client est devenu le véritable moteur de la chaîne d'approvisionnement. La loi du marché ne se résume plus aujourd'hui à la simple relation entre une quantité de biens et un prix donné : elle est désormais dictée par des exigences clients en constante évolution, qui façonnent et redéfinissent en permanence les priorités des entreprises. Cette réalité place la compréhension et la maîtrise de la demande au cœur de toute stratégie d'approvisionnement, ce qui en fait, comme le soulignent Chopra & Meindl, la première étape indispensable à toute adéquation stratégique.

Or, la nature de la demande est aujourd'hui soumise à de multiples facteurs qui en complexifient la maîtrise. Christopher (2016) identifie ainsi six dimensions fondamentales qui caractérisent la demande contemporaine [8] :

- La quantité du produit demandé
- Le prix du produit ou du service

- La variété des produits attendus
- Le temps de réponse toléré par le client
- Le niveau de service demandé
- La fiabilité des livraisons

Lorsque les clients d'un même segment présentent des besoins différents sur l'une ou plusieurs de ces dimensions, un client industriel B2B exigeant un taux de disponibilité très élevé, quand un client particulier accepte un délai plus long, une incertitude implicite de la demande émerge, c'est-à-dire une incertitude propre à un segment particulier de clients, qui rend la prévision précise des caractéristiques de la demande particulièrement difficile à établir.

C'est précisément pour répondre à ce défi que la prévision de la demande occupe une place centrale dans le pilotage de la supply chain. Prévoir, c'est tenter de réduire cette incertitude en anticipant les besoins futurs à partir de données historiques, de tendances de marché et de signaux avancés. Une prévision fiable permet de planifier les approvisionnements, de dimensionner les stocks et d'optimiser les ressources de production, autant de leviers qui conditionnent directement la réactivité et la performance de la chaîne.

Pour structurer cette réflexion, Fisher (1997) propose un cadre d'analyse fondateur qui lie la nature du produit à l'incertitude de sa demande. Selon ce modèle, les produits fonctionnels à cycle de vie long avec une faible variété et une demande stable, se prêtent naturellement à une supply chain efficiente, pilotée par les coûts. À l'inverse, les produits innovants à cycle de vie court et demande peu prévisible appellent une supply chain réactive, capable d'absorber la variabilité du marché.[9]

La figure 2.1 montre le positionnement de divers produits selon l'incertitude de la demande et de la supply chain.[10]

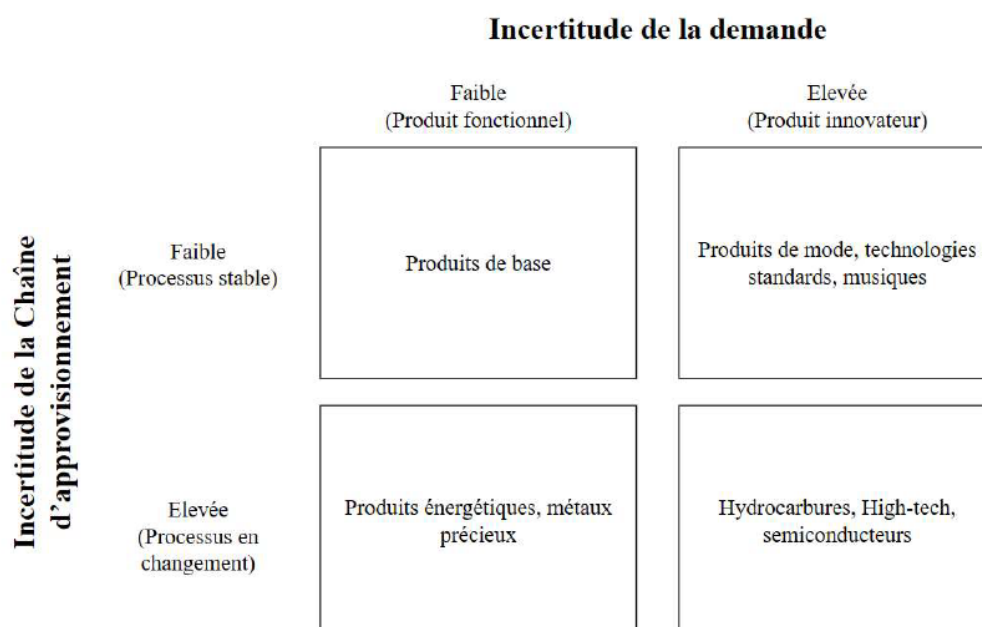


FIGURE 2.2 – Classification des produits selon l'incertitude de la demande et de la supply chain [10]

Les lubrifiants, bien que considérés comme des produits relativement matures, mais présentent une incertitude de la demande non négligeable. Leur consommation est en effet

soumise à plusieurs facteurs de volatilité : la saisonnalité des besoins industriels et automobiles, notamment en fin d'année lors des cycles de maintenance, la diversité des segments clients servis, du réseau de distribution aux industriels et les variations régionales de la demande entre les zones couvertes. À cela s'ajoute une évolution structurelle du marché, avec une demande croissante pour les lubrifiants synthétiques et bas carbone, qui introduit une dimension d'incertitude supplémentaire, caractéristique des produits innovants. Cette réalité positionne les lubrifiants dans une zone intermédiaire de la matrice de Fisher, entre produits fonctionnels et innovants, justifiant ainsi la nécessité d'une réflexion approfondie sur le design le plus adapté de leur chaîne d'approvisionnement.

2.1.2 Supply Chain entre efficience et réactivité

Selon les caractéristiques du produit ou du service et la nature de sa demande, deux designs distincts de chaînes d'approvisionnement peuvent être mobilisés pour créer un avantage concurrentiel : une supply chain efficiente ou une supply chain réactive.

Le choix entre ces deux modèles ne se fait pas de manière isolée, mais s'inscrit dans le cadre de l'adéquation stratégique définie par Chopra & Meindl : la stratégie de supply chain doit être cohérente avec la stratégie compétitive de l'entreprise et les besoins des segments de clients ciblés.[6]

La supply chain efficiente a pour objectif principal de coordonner les flux de matières et de services afin de minimiser les stocks et maximiser l'efficacité opérationnelle. Elle est caractéristique des produits à demande relativement stable à long terme, à cycle de vie long et à volume de production élevé, appelés les produits de commodité. Pour ces produits, la qualité, le délai de livraison et la disponibilité constituent des critères qualificatifs, mais c'est le prix qui demeure le critère déterminant pour remporter les commandes. Dans ce modèle, les installations sont centralisées pour maximiser les économies d'échelle, les niveaux de stock sont maintenus au minimum, et les modes de transport privilégiés sont lents et économiques.

La supply chain réactive, quant à elle, est conçue pour répondre rapidement aux fluctuations du marché et à l'incertitude de la demande. Elle s'applique aux produits à forte variabilité, pour lesquels le niveau de service, qui est la capacité à répondre aux attentes individualisées des clients, constitue le critère déterminant de compétitivité. Les chaînes réactives maintiennent des stocks tampons importants pour garantir la disponibilité, privilégient des fournisseurs flexibles et rapides, et investissent dans la réduction agressive des délais, même si cela implique des coûts plus élevés. Elles doivent être capables de concurrencer grâce à leur rapidité de réaction, leur flexibilité et leur capacité à s'adapter à des besoins consommateurs changeant rapidement et individualisés, tout en maintenant efficacité et rentabilité.

Lors du choix d'une stratégie de chaîne d'approvisionnement, il est crucial de l'aligner avec une stratégie concurrentielle ciblant un segment de marché spécifique et de prendre en compte la position actuelle et cible de l'entreprise et du développement de la chaîne d'approvisionnement.[11]

Le tableau suivant synthétise les principaux facteurs de différenciation entre ces deux modèles, (Combinaison des modèles de Fisher (1997) et Lee (2002)),[9] [10] :

Critères	Chaînes d'approvisionnement efficaces	Chaînes d'approvisionnement réactives
Objectif principal	Satisfaire la demande au coût le plus bas	Répondre rapidement à la demande
Demande	Prévisible, faible taux d'erreur sur les prévisions	Non prévisible, forte incertitude
Variété de produits	Faible	Élevée
Marge de contribution	Faible	Élevée
Introduction de nouveaux produits	Peu fréquente	Très fréquente
Stratégie de conception de produit	Maximiser la performance à un coût minimal	Créer de la modularité pour permettre le report (postponement) de la différenciation
Stratégie de prix	Marges faibles car le prix est un facteur déterminant	Marges élevées car le prix n'est pas le facteur principal
Stratégie de production	Réduction des coûts grâce à une forte utilisation des capacités	Flexibilité des capacités pour faire face à l'incertitude
Stratégie de gestion des stocks	Minimiser les stocks pour réduire les coûts	Maintenir des stocks tampons pour gérer l'incertitude
Stratégie de délai (lead time)	Réduire les délais sans augmenter les coûts	Réduction du lead time est prioritaire
Stratégie fournisseurs	Mettre l'accent sur la baisse des prix, la qualité, et la livraison à temps	Mettre l'accent sur la rapidité du délai de livraison, personnalisation, flexibilité des volumes, Qualité de conception

TABLE 2.1 – Comparaison entre les chaînes d'approvisionnement efficaces et réactives (Fisher, Chopra & Meindl)

Il convient de souligner que ces deux modèles ne sont pas mutuellement exclusifs. De nombreuses entreprises adoptent une approche hybride, dite *tailored supply chain*, qui consiste à appliquer une stratégie efficace pour la part prévisible et stable de leur demande, et une stratégie réactive pour gérer les fluctuations incertaines. C'est le cas des entreprises qui recourent à une production réactive pour leurs articles de mode éphémères, caractérisés par une forte variabilité de la demande, tout en s'appuyant sur une production efficace pour leurs produits de base, dont la demande est plus stable et prévisible.

La nature de la demande, mêlée à la stratégie de l'entreprise, sont le pilier de la détermination des priorités de la supply chain. Le secteur dans lequel opère l'entreprise joue un rôle crucial dans le choix d'une stratégie adaptée.

2.2 La Supply Chain dans le secteur des lubrifiants

Le secteur des lubrifiants occupe une place stratégique à l'interface de l'industrie pétrolière, de l'automobile et des activités industrielles. En raison de la dépendance de ses intrants aux produits pétroliers, de la variabilité de la demande et des exigences croissantes en matière de qualité et de conformité, la gestion de sa chaîne d'approvisionnement constitue un enjeu majeur pour assurer la continuité des opérations et la compétitivité des entreprises.

Dans ce contexte, la supply chain des lubrifiants doit être conçue de manière à répondre rapidement aux évolutions du marché, tout en maîtrisant les coûts et en garantissant la disponibilité des produits.

2.2.1 La nécessité d'une supply chain réactive dans le secteur des lubrifiants

Le secteur des lubrifiants est caractérisé par une forte sensibilité aux variations du marché, aux contraintes réglementaires et aux évolutions technologiques. Cette réalité impose aux entreprises d'adopter une supply chain réactive, capable de s'ajuster rapidement aux fluctuations de la demande et aux perturbations de l'environnement externe.[?]

En effet, plusieurs facteurs expliquent cette nécessité :

- **Volatilité des matières premières** : La production des lubrifiants dépend largement d'intrants issus du pétrole brut, notamment les huiles de base et certains additifs. Les variations des prix du brut influencent directement les coûts de production et peuvent affecter la stabilité des approvisionnements. Une chaîne d'approvisionnement réactive permet de limiter l'impact de ces fluctuations sur la performance globale de l'entreprise.[12]
- **Risque de perturbations** : Le secteur est exposé à divers risques, tels que les crises géopolitiques, les tensions sur les marchés internationaux, les difficultés logistiques ou encore les crises sanitaires. Ces perturbations peuvent affecter l'approvisionnement en matières premières, retarder les livraisons et désorganiser les flux. La réactivité de la supply chain devient alors essentielle pour assurer la continuité des activités.[13]
- **Évolutions réglementaires et technologiques** : Les exigences environnementales et les transformations technologiques obligent les fabricants à adapter régulièrement leurs formulations, leurs procédés et leurs gammes de produits. Cela concerne notamment le développement de lubrifiants spécifiques adaptés aux nouvelles motorisations et aux équipements industriels modernes. Une chaîne réactive facilite ces ajustements dans des délais réduits.[14]
- **Variabilité de la demande** : La demande en lubrifiants dépend de plusieurs facteurs, notamment l'activité industrielle, le parc automobile, la saisonnalité et les dynamiques régionales. Cette demande étant souvent irrégulière et difficile à prévoir, les entreprises doivent disposer d'une organisation flexible et capable de répondre rapidement aux besoins du marché.[15]

2.2.2 Pourquoi la gestion des stocks est indispensable à cette réactivité

La gestion des stocks est un élément essentiel pour améliorer la réactivité de la chaîne d'approvisionnement, car elle garantit la disponibilité continue des produits et permet de satisfaire rapidement la demande des clients. Une optimisation des niveaux de stock contribue à réduire les délais de réapprovisionnement, ce qui accélère le processus de livraison. Par ailleurs, cette flexibilité organisationnelle aide l'entreprise à s'adapter efficacement aux variations de la demande ainsi qu'aux imprévus, assurant ainsi la continuité des opérations. Enfin, une gestion performante des stocks permet de limiter les coûts liés au surstockage et aux ruptures, ce qui améliore l'efficacité financière et la performance globale de la chaîne logistique [16].

2.3 Prévision

C'est l'ensemble des techniques qui aident à une prise de décisions managériales, tout en utilisant l'historique des données ou des approches qualitatives (avis d'experts...), dans le but d'alimenter l'entreprise par des événements futurs qui peuvent se produire pour aligner l'offre et la demande. C'est l'art et la science d'anticiper le futur en finance (planification des budgets et gestion des risques), en production (anticipation de la main-d'œuvre) et dans d'autres fonctions de l'organisation.

Elle représente une étape importante dans la supply chain pour faire face aux incertitudes d'un marché incertain, mais au-delà de l'aval de l'entreprise, elle participe à une meilleure allocation des ressources. Elle permet une coordination inter-départements, une gestion de stock optimisée, des approvisionnements dans les meilleurs délais et une amélioration de la rentabilité de l'entreprise.

Dans ce contexte, Pimor et Fender (2008) précisent que pour établir une prévision de besoins, il va falloir se construire une certaine représentation de la réalité. C'est ce qu'on appelle un « modèle ». Il va de soi que les méthodes de prévision dépendent étroitement de l'objet de cette prévision, du secteur économique concerné, du produit lui-même et de ses capacités de stockage et de conservation, des objectifs de la prévision et de son horizon [17]. Des prévisions bien établies permettent à l'entreprise de se positionner sur le marché et d'avoir un avantage concurrentiel qui lui permet une meilleure collaboration avec les clients.

2.3.1 L'horizon de prévision

Dans un monde idéal, une entreprise fabrique exactement le nombre de produits que ses clients vont acheter mais, en dehors des cas de production à la commande, en réalité, cette adéquation parfaite est difficilement réalisable. Les entreprises mettent alors en place des processus de prévision de la demande, qu'il s'agisse de prévisions à long terme, à moyen terme, ou à court terme (ces différents horizons de temps étant toujours à évaluer en fonction du contexte spécifique de l'entreprise et du marché dans lequel elle évolue) comme cela a été montré dans l'ouvrage de Stal-Le Cardinal, Pineau et Vidal (2025)[18].

Il est évident que tous les secteurs d'une entreprise sont intéressés par la prévision et ces différentes utilisations de la prévision impliquent des horizons différents (d'après Bourbonnais et al., 1992) [19].

Fonction	Application	Horizon
Gestion commerciale	Prévision de ventes Fixation d'objectifs Gestion des stocks Livraisons	3 - 6 mois Quelques jours à 3 mois
Gestion de production	Prévisions de commandes Planning, ordonnancement Gestion des stocks	3 - 6 mois Quelques jours à 3 mois
Marketing	Prévisions de vente Plan marketing	6 - 12 mois
Finance	Simulation financière Plan de trésorerie Gestion du risque de change	3 - 12 mois
Contrôle de gestion	Budgets	6 - 15 mois
Plan	Planification stratégique	3 ans et plus

TABLE 2.2 – Horizons des différents secteurs d'une entreprise
Source : Pimor, Y. et Fender, M. (2008).

2.3.2 Les méthodes de prévision

Dans les prévisions, il existe deux approches prévisionnelles, à savoir des méthodes qualitatives et quantitatives, qui se basent respectivement sur des jugements d'experts et sur des traitements statistiques et mathématiques. La figure 2.3 résume les deux types d'approches prévisionnelles.

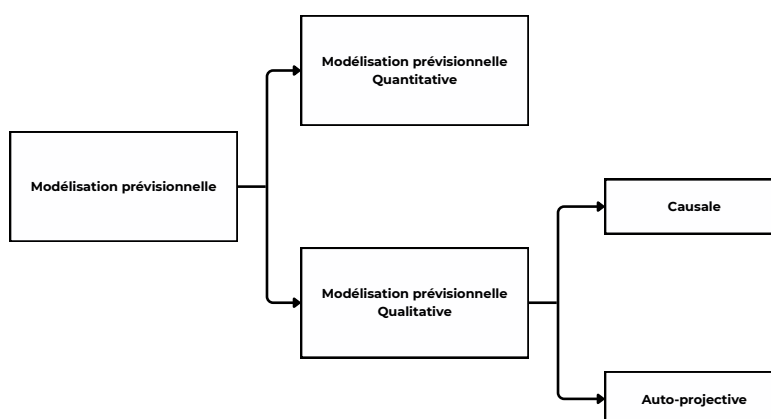


FIGURE 2.3 – Typologie de la modélisation prévisionnelle

La différence qui réside entre ces deux approches prévisionnelles est la disponibilité des données, qui permet de concevoir des modèles (prévisions quantitatives). Le cas contraire correspond à des prévisions qualitatives.

2.3.3 La démarche prévisionnelle

On rencontre souvent des entités économiques dans lesquelles la donnée n'est pas disponible, un défi qui a empêché la prévision et une bonne prise de décision. Face à ces limites, des modèles conceptuels purs ou hybrides ont été conçus pour y répondre efficacement. La démarche prévisionnelle est structurée comme suit :

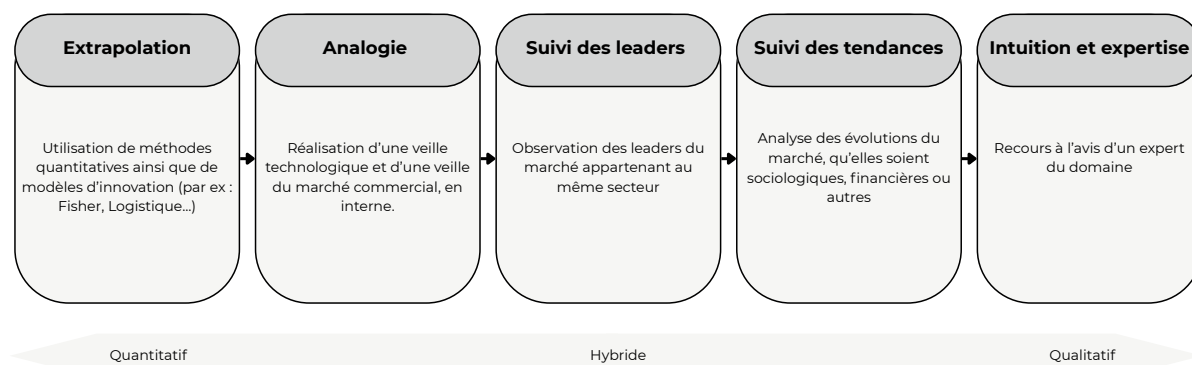


FIGURE 2.4 – La démarche prévisionnelle : les cinq visions du futur

A. La modélisation prévisionnelle qualitatives

C'est un type de modélisation qui se base sur l'expertise et l'intuition des professionnels, représentant des données subjectives. La fiabilité de ce type repose généralement sur les acteurs et dépend de leur expérience. On fait appel à ce type en cas d'absence de données, notamment pour des start-up, des lancements de nouveaux produits, etc. Elles sont également très coûteuses et longues à déployer. La figure 2.5 résume certaines techniques de cette approche.

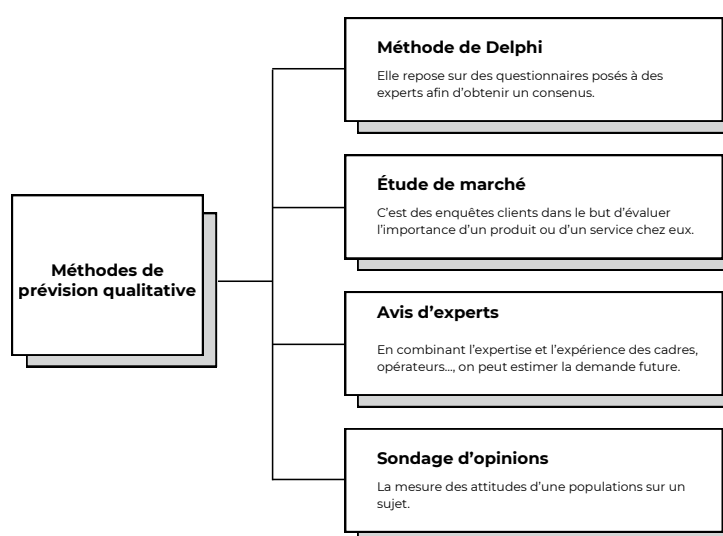


FIGURE 2.5 – Principales techniques qualitatives

B. La modélisation prévisionnelle quantitative

La modélisation quantitative sert à utiliser des données du passé afin de pouvoir prédire le futur. Il s'agit d'une méthode qui repose sur le fait de supposer que les données suivent une certaine distribution, puis de faire des tests pour valider le modèle.

Contrairement aux modélisations qualitatives, ce type est plus rapide en traitement une fois le modèle sélectionné. Il existe deux branches dans la modélisation quantitative : des méthodes causales (l'économétrie) et des méthodes auto-projectives (séries chronologiques).

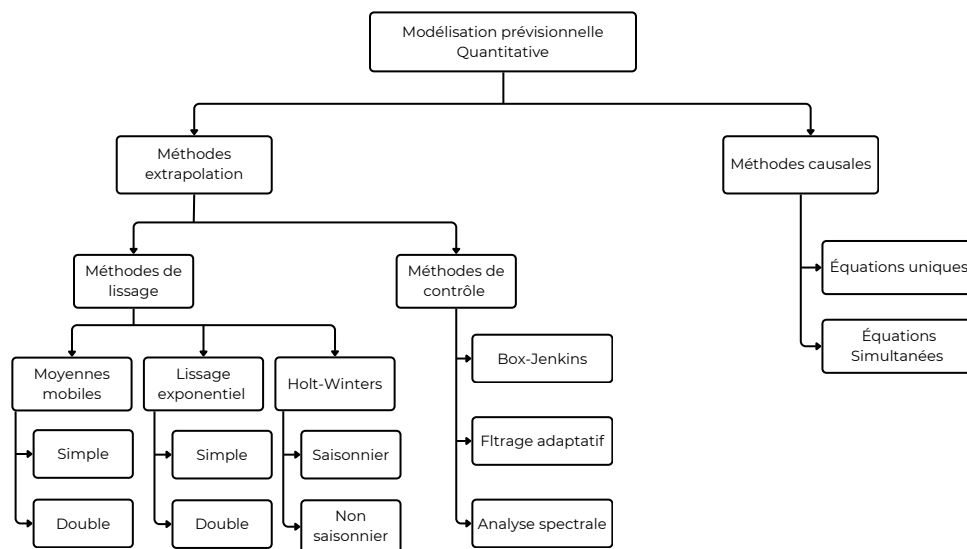


FIGURE 2.6 – Typologie des techniques de la modélisation prévisionnelle Quantitative

Modélisation Causale (Économétrie)

Une branche de la modélisation quantitative consiste à établir des relations entre la variable endogène Y (la variable cible) et les variables exogènes X (les variables explicatives). Ainsi, l'ensemble des variables exogènes explique la variable endogène, ce que l'on appelle établir des relations de cause à effet en utilisant les mathématiques, l'économie et les statistiques. On exprime la formule du modèle par :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_nX_n + \varepsilon \quad (2.1)$$

où :

- $X_1, X_2, \cdots, X_n$: Variables exogènes
- Y : la variable endogène (la cible)
- a : la coordonnée à l'origine
- $b_1, b_2, \cdots, b_n$: Coefficient de régression
- ε : Variable d'erreur

Cette figure 2.7 présente les étapes de prévision avec les méthodes causales :

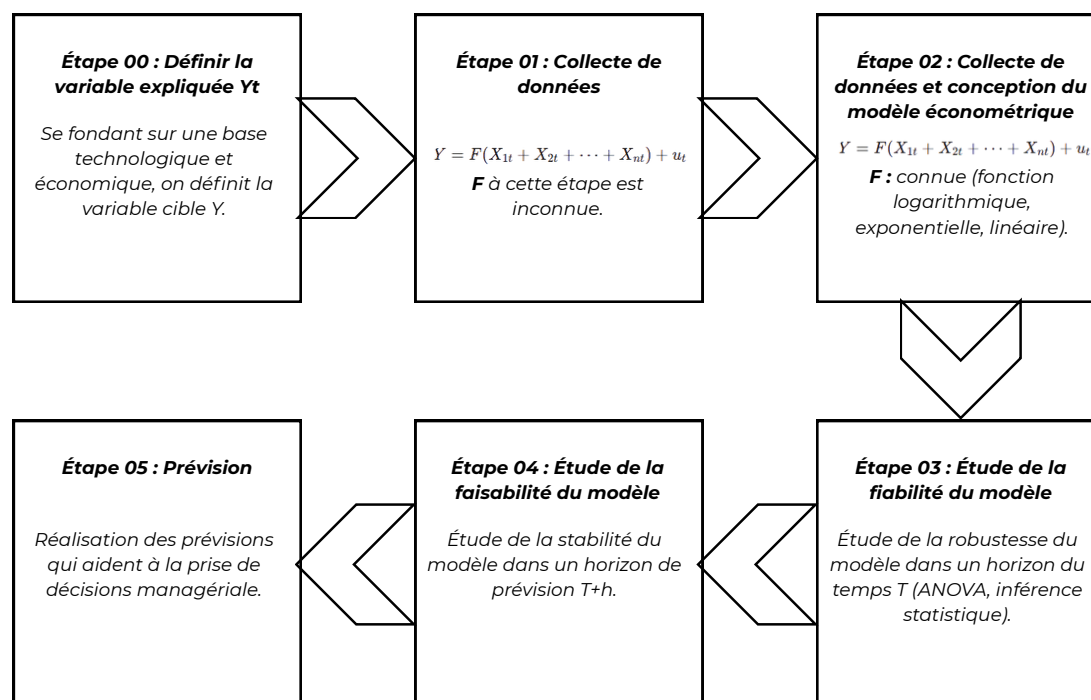


FIGURE 2.7 – étapes de prévision avec les méthodes causales

Pour les méthodes de la modélisation causale, on distingue la régression simple, la régression multiple et la régression généralisée.

Modélisation prévisionnelle auto-projective

À l'inverse de la modélisation causale, la variable cible dans ce cas est une fonction du temps sommée avec la variable d'erreur, appelé une série chronologique. Elle est basée sur l'analyse de la chronique ainsi que ses composants qui sont : la tendance, la saisonnalité et le terme d'erreur. Le modèle s'écrit comme suit :

$$Y_t = S(t) + M(t) + U(t) \quad (2.2)$$

où :

- S : fonction de la saisonnalité
- M : fonction de tendance
- U : fonction aléatoire

Le schéma ci-dessous présente les étapes de la modélisation auto-projective :

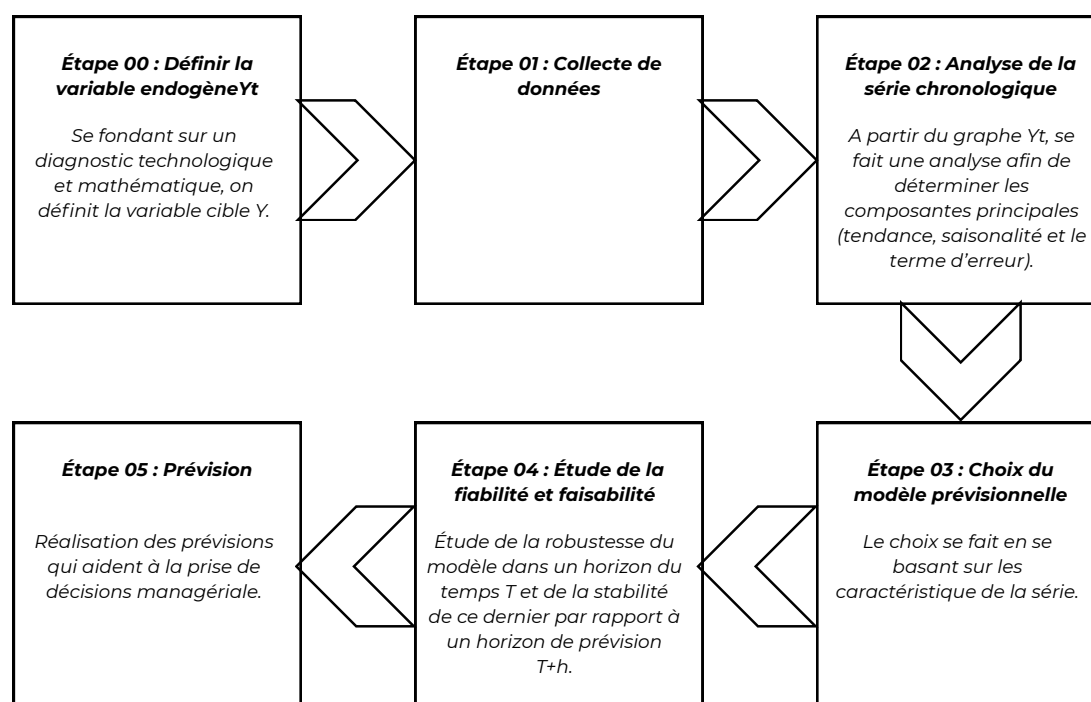


FIGURE 2.8 – étapes de prévision avec les méthodes Auto-projective

On identifie deux techniques dans la modélisation auto-projective, en particulier les techniques de lissage comprenant : la moyenne mobile simple, la moyenne mobile double, le lissage exponentiel simple, le lissage exponentiel double, Holt-Winters et des techniques de contrôle, où l'on étudie la stationnarité du modèle.

a. Les techniques de lissage

Moyenne Mobile Simple

Cette technique est utilisée quand la demande ne présente pas une grande variabilité, à savoir une demande quasi constante, ainsi une série sans tendance et non saisonnière. La formule est :

$$p_t = \frac{\sum_{k=1}^n d_{t-k}}{n} \quad (2.3)$$

Cette formule est simplement la moyenne des N dernières demandes (ou ventes).

où :

- p_t : la prévision pour une période t
- d_t : la demande pour la période t-i
- n : nombre de périodes considérées

Moyenne Mobile Double

Utilisée quand la série présente une tendance linéaire dans le but de corriger le retard de la MMS face aux tendances. Son expression est :

$$P_{t+h} = S'_t + h \times (S'_t - S''_t) \times \frac{2}{n-1} \quad (2.4)$$

où :

- S'_t : MMS de niveau 1
- S''_t : MMS de niveau 2 (appliquée sur les S'_t)
- h : horizon prévisionnel
- n : nombre de périodes considérées

Lissage exponentiel simple

Selon l'ancienneté du modèle, cette technique travaille à pondérer les données dans un sens décroissant pour une série sans tendance et sans saisonnalité : série stationnaire. Elle met en priorité des données récentes, exprimée par la formule :

$$P_t = P_{t-1} + \alpha (D_t - P_{t-1}) \quad (2.5)$$

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

Lissage exponentiel double

Cette technique traite les séries chronologiques avec une tendance en effectuant le même lissage précédent et en ajoutant un deuxième paramètre de lissage dans le but de l'extrapolation de la tendance linéaire. Son modèle est le suivant :

$$P_{t+h} = a_{0t} + a_{1t}.h \quad (2.6)$$

où :

- h : horizon de prévision.
- a_{0t} : moyenne lissée de la série temporelle en période t .
- a_{1t} : pente de la tendance estimée en période t .

Ces composantes se calculent selon les formules :

$$a_{0t} = \alpha D_t + (1 - \alpha) (a_{0t-1} + a_{1t-1}) \quad (2.7)$$

$$a_{1t} = \beta (a_{0t-1} + a_{1t-1}) + (1 - \beta) a_{1t-1} \quad (2.8)$$

où β représente le coefficient de lissage de la tendance.

Lissage exponentiel triple (Holt-Winters)

Pour des séries avec une tendance et une saisonnalité, cette technique intervient comme une amélioration des techniques précédentes. Elle estime trois paramètres : ceux de la tendance, de la variation et de la saisonnalité.

Selon sa nature de saisonnalité, on trouve deux variantes : additive ou multiplicative.

1. Variante additive : utilisée dans le cas où l'amplitude de la saisonnalité est constante. Exprimée par :

$$\begin{aligned}l_t &= \alpha(y_t - s_{t-m}) + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \\b_t &= \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\s_t &= \gamma(y_t - l_t) + (1 - \gamma)s_{t-m} \\\hat{y}_{t+h} &= l_t + hb_t + s_{t+h-m(k+1)}\end{aligned}\tag{2.9}$$

où :

- l_t : niveau de la série temporelle à l'instant t
- b_t : la tendance à l'instant t
- s_t : facteur saisonnier à l'instant t
- α, β, γ : paramètres de lissage $0 < \alpha, \beta, \gamma < 1$
- m : périodicité saisonnière
- $k = \left\lfloor \frac{h-1}{m} \right\rfloor$

2. Variante multiplicative : pour une évolution (ou diminution) proportionnelle de la saisonnalité dans une série chronologique, on emploie cette variante en utilisant des paramètres saisonniers multiplicatifs :

$$\begin{aligned}l_t &= \alpha \left(\frac{y_t}{s_{t-m}} \right) + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \\b_t &= \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \\s_t &= \gamma \left(\frac{y_t}{l_t} \right) + (1 - \gamma)s_{t-m} \\\hat{y}_{t+h} &= (l_t + hb_t) \cdot s_{t+h-m(k+1)}\end{aligned}\tag{2.10}$$

b. Techniques de Contrôle

Notions fondamentales :

1. Stationnarité

Une série temporelle est dite stationnaire si elle ne présente pas de tendance ni de saisonnalité, avec un type TS ou DS :

$$\begin{aligned}E(y_t) &= \mu \quad \forall t \\ \text{Var}(y_t) &= \sigma^2 < \infty \\ \text{Cov}(y_t, y_{t-k}) &= E[(y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu)] = \gamma_k\end{aligned}$$

La série ε_t , caractérisée par :

$$E(\varepsilon_t) = 0 \quad \text{et} \quad \text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma^2,$$

constitue une série stationnaire appelée bruit blanc.

2. Test de Dickey-Fuller simple et augmenté

Pour tester si une série est stationnaire ou non, on utilise ce test (DF), qui est un outil statistique.

La stationnarité est caractérisée par des propriétés statistiques qui ne changent pas au fil du temps (telles que la moyenne, la variance). À défaut, la série peut être transformée en une série stationnaire par une différenciation une ou plusieurs fois. On distingue deux types de processus :

- Processus TS (Trend Stationary) : un modèle avec une tendance déterministe, où la moyenne change d'une manière prévisible avec une tendance linéaire, non linéaire ou exponentielle. Exprimé de la façon suivante :

$$y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t \quad (2.11)$$

Où ε_t : l'erreur du modèle à la période t .

Ce type de processus peut être stationnarisé en utilisant la méthode des moindres carrés.

- Processus DS (Difference Stationary) : ou marche aléatoire, un modèle caractérisé par une non-stationnarité de type stochastique. La formule est :

$$y_t = y_{t-1} + \beta + \sum_{i=1}^t \varepsilon_i \quad (2.12)$$

avec $\varepsilon_t \sim \text{i.d.d.}(0, \sigma_\varepsilon^2)$

β une constante.

On distingue deux cas :

- o $\beta \neq 0$: Le processus DS est un processus avec dérive. La non-stationnarité est causée par le fait que :

$$y_t = y_{t-1} + \beta$$

implique que $E(y_t)$ dépend du temps.

- o $\beta = 0$: Le processus DS est un processus sans dérive. La non-stationnarité provient de la variance de y_t :

$$\text{Var}(y_t) = \sum_{i=1}^t \text{Var}(\varepsilon_i) = t\sigma^2$$

et lorsque $t \rightarrow \infty$,

$$\text{Var}(y_t) \rightarrow \infty.$$

Ce type de processus peut être stationnarisé en utilisant un filtre aux différences :

$$\begin{cases} y_t - y_{t-1} = \beta + \varepsilon_t \\ y_t - y_{t-1} = \varepsilon_t \end{cases}$$

Une série chronologique est intégrée d'ordre d ($y_t \sim I(d)$) s'il convient de la différencier d fois afin de la rendre stationnaire.

- **Test de Dickey-Fuller simple** : appelé également test de racine unitaire, l'erreur de la série ε_t suit une loi normale. Les modèles de base utilisés pour construire ces tests sont :

$$[1] \quad y_t = \phi y_{t-1} + \varepsilon_t \quad : \text{Modèle autorégressif d'ordre 1.} \quad (2.13)$$

$$[2] \quad y_t = \phi y_{t-1} + c + \varepsilon_t \quad : \text{Modèle autorégressif d'ordre 1 avec constante.} \quad (2.14)$$

$$[3] \quad y_t = \phi y_{t-1} + c + bt + \varepsilon_t \quad : \text{Modèle autorégressif d'ordre 1 avec constante et tendance.} \quad (2.15)$$

Avec ε_t est à bruit blanc.

Les hypothèses du test sont :

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

Avec :

- ϕ_1 : la racine unitaire
- c : une constante
- b : coefficient de la tendance
- ε_t : l'erreur de prévision à bruit blanc.

Dans le cas de H_0 vraie, l'estimateur $\hat{\phi}_1$ est exprimé par :

$$t_{\hat{\phi}_1} = \frac{\hat{\phi}_1 - 1}{\hat{\sigma}_1} \quad (2.16)$$

Après estimation de $t_{\hat{\phi}_1}$, le choix du modèle s'effectue selon les règles de décision suivantes :

Si :

$$t_{\hat{\phi}_1} > t_{DF} \quad (\text{où } t_{DF} \text{ présente la valeur critique issue de la table de Dickey-Fuller})$$

On accepte H_1 , ainsi le coefficient de la variable explicative est significativement différent de 0.

Si b s'avère significativement différent de 0, le modèle [3] est retenu et le test s'arrête.

À défaut, on passe au modèle [2] pour tester c . Si ce dernier est significativement non nul, on retient le modèle [2], sinon on adopte le modèle [1].

- **Test de Dickey Fuller augmenté** : ce test présente une similarité avec le DF simple. La principale distinction tient au fait que l'erreur ne suit pas un bruit blanc.

Ses hypothèses s'écrivent comme suit :

$$H_0 : \text{série non stationnaire}$$

$$[4] \quad \Delta y_t = \rho y_{t-1} - \sum_{k=1}^p \phi_k y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.17)$$

$$[5] \quad \Delta y_t = \rho y_{t-1} - \sum_{k=2}^p \phi_k y_{t-k} + c + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

$$[6] \quad \Delta y_t = \rho y_{t-1} - \sum_{k=1}^p \phi_k y_{t-k} + bt + c + \varepsilon_t \quad (2.19)$$

(où $\phi_1 = 1, \rho = 1$)

$$H_1 : |\rho| < 1$$

Avec ρ représentant le nombre de retards, et $\mu_t \sim \text{iid}(0, \sigma_\varepsilon^2)$.

La figure ci-dessous récapitule l'ensemble des étapes à suivre lors du test de racine unitaire de Dickey-Fuller.

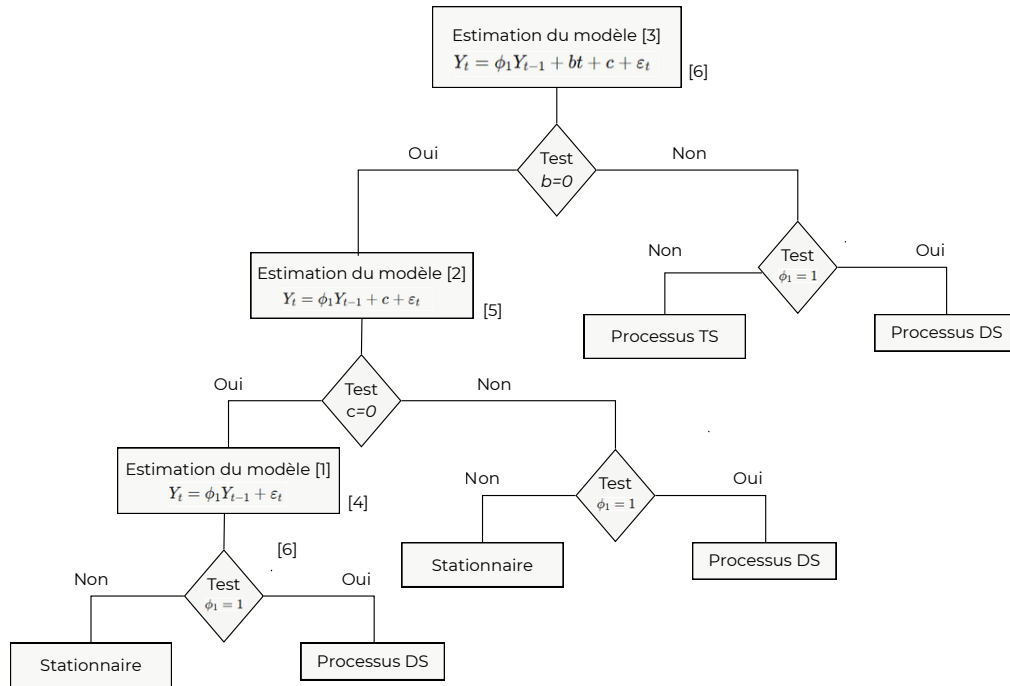


FIGURE 2.9 – Structure du test de racine unitaire Dickey-Fuller

3. Typologie des modèles AR, MA et ARMA :

À ce sujet, Laurent (2006) souligne que les modèles de la classe ARMA sont constitués à partir de deux processus aléatoires originels : AR(p) pour AutoRegressive d'ordre pet MA(g) pour Moving Average d'ordre q [20].

- Modèle autorégressif (AutoRegressive)

Exprime la variable aléatoire en t à partir des variables aléatoires en t-k et d'un bruit blanc. La combinaison additive (qui peut également être multiplicative) des deux processus est notée ARMA(p,q) pour Auto Regressive Moving Average [20] :

$$\text{AR}(p) : \quad x_t = \theta_1 x_{t-1} + \theta_2 x_{t-2} + \cdots + \theta_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.23) \quad (2.20)$$

où :

- $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$: des paramètres à estimer (positifs ou négatifs)
- ε_t : un terme d'erreur gaussien.

- Modèle Moyenne Mobile (Moving Average)

Le processus moyenne mobile exprime la variable aléatoire en fonction d'une combinaison linéaire de bruits blancs [20] :

$$\text{MA}(q) : \quad x_t = \varepsilon_t - \alpha_1 \varepsilon_{t-1} - \alpha_2 \varepsilon_{t-2} - \cdots - \alpha_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.21)$$

où

- $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q$: des paramètres à estimer (positifs ou négatifs)
- ε_t : un terme d'erreur gaussien.

ARMA (AutoRegressive Moving Average)

C'est la combinaison additive ou multiplicative des deux modèles précédents, avec une notation ARMA(p,q).

$$\text{ARMA}(p, q) : \quad (1 - \theta_1 D - \theta_2 D^2 - \cdots - \theta_p D^p) x_t = (1 - \alpha_1 D - \alpha_2 D^2 - \cdots - \alpha_q D^q) \varepsilon_t \quad (2.22)$$

Méthodologie de Box-Jenkins

En plus de l'auto-régression et de la moyenne mobile, la méthode BJ utilise la différenciation pour rendre la série temporelle stationnaire en remplaçant chaque valeur par l'écart entre l'observation courante et la précédente.

L'autorégression (p) consiste à tester la stationnarité des données ; le cas échéant, la prévision devient plus simple. Dans le cas contraire, une différenciation de degré d devient nécessaire. La composante de moyenne mobile q est également prise en compte. Ainsi, cette analyse est importante afin de préparer efficacement la prévision et vise à déterminer les paramètres (p, d, q) qui serviront ensuite à construire le modèle de prévision.

cette technique est utilisée pour des séries chronologiques perturbées complexes, elle intègre des tests statistiques et des KPI en construisant des modèles de type ARIMA "AutoRegressive Integrated Moving Average" désignés par ARIMA (p, d, q). Ses étapes sont :



FIGURE 2.10 – les étapes de la méthodologie de Box-Jenkins

La méthodologie de Box-Jenkins vise à identifier le modèle ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) le plus adapté pour modéliser le phénomène étudié. Voici la démarche de la procédure de prévision par Box-Jenkins.

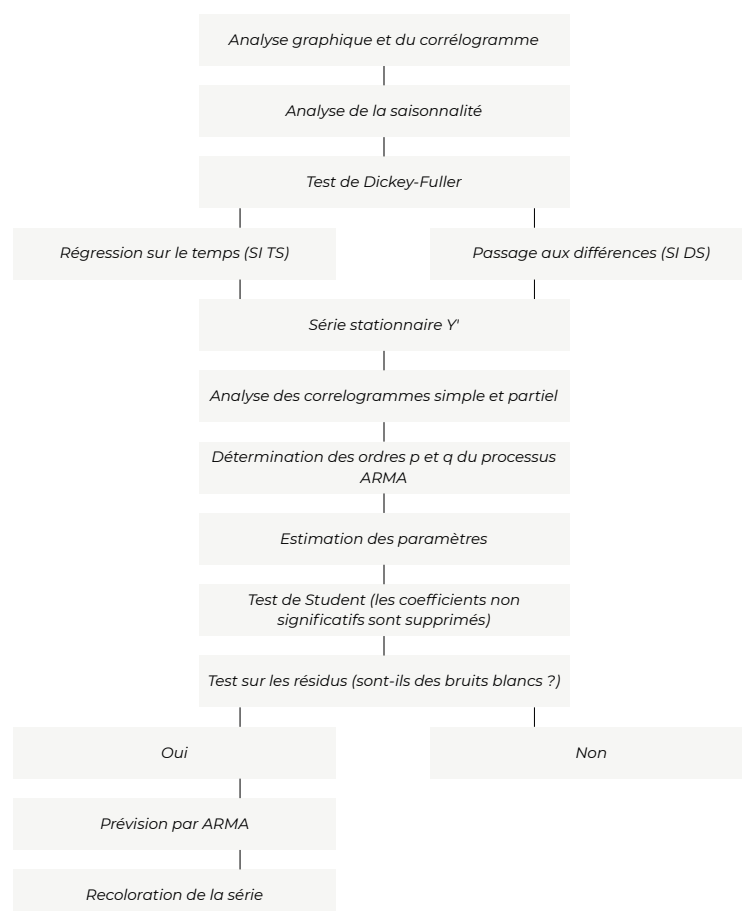


FIGURE 2.11 – La démarche de la procédure de prévision par Box-Jenkins

2.4 L'intelligence artificielle au service de la prise de décisions plus efficace

L'intelligence artificielle est définie comme l'ensemble des tâches nécessitant un effort intellectuel pouvant être remplacé par une machine, notamment les analyses, les prévisions, les prises de décision ainsi que les différents processus organisationnels (Ruff Escobar, Redslob et Malaga, 2020) [21]. Il est également souligné que cette technologie présente un fort potentiel, notamment à travers la capture de connaissances, l'optimisation des fonctions de gestion et la substitution de certains processus, opérations et communications spécifiques [21].

L'étude de l'impact de l'intelligence artificielle sur la prise de décision remonte à plusieurs années, Lawrance (1991) a proposé une analyse nuancée qui examine les relations entre les technologies d'IA et les dimensions de la prise de décision, et explore de manière exhaustive comment les technologies d'IA influencent non seulement la complexité des processus décisionnels, mais également leur nature politique et les dynamiques de pouvoir au sein des organisations [22].

De nombreuses méthodes ont été proposées dans la littérature pour réaliser des prévisions de la demande à l'aide d'outils d'intelligence artificielle.

1.5.1 Régression linéaire

Les modèles de régression constituent une technique de prévision puissante et flexible. Ils permettent aux entreprises de mieux comprendre et anticiper les comportements des clients en fonction de divers facteurs influents. Cependant, leur efficacité dépend de l'adéquation des hypothèses de modélisation aux données réelles ainsi que des précautions prises pour gérer les complexités inhérentes à ces modèles[23]. Il existe deux grandes méthodes de régression linéaire :

- **La régression linéaire simple** : lorsque la demande varie graduellement au cours du temps, la tendance linéaire peut être utilisée pour établir une prévision de la demande. Dans un tel cas, il s'agit de modéliser le phénomène étudié (soit l'évolution de la demande du produit considéré) par une droite dont il faut déterminer la pente (B_1) et l'ordonnée à l'origine (B_0) [24].

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2.23)$$

Où :

- B_0 représente l'ordonnée à l'origine, soit la valeur moyenne de Y lorsque X est égal à zéro ;
 - B_1 représente la pente de la droite de régression ; elle correspond à l'effet de la variable explicative sur la moyenne de Y ;
 - ε_i est une variable aléatoire appelée erreur résiduelle.
- **La régression linéaire multiple** : elle prend en compte plusieurs variables explicatives.

1.5.2 Support Vector Regression (SVR)

Support Vector Machine Prediction (SVM) est une technique d'apprentissage automatique largement utilisée pour la prédiction et la classification dans divers domaines. Cette technique utilise un algorithme qui apprend à classer les données grâce à un processus itératif améliorant continuellement la précision des prévisions.[25]

Les vecteurs de support constituent un sous-ensemble des données d'apprentissage servant à définir la frontière entre deux classes. Dans les situations où la machine à vecteurs de support ne peut pas séparer deux classes de manière linéaire, elle résout ce problème en projetant les données d'entrée dans des espaces de grande dimension à l'aide d'une fonction noyau.

Dans cet espace de grande dimension, il devient possible de créer un hyperplan permettant une séparation linéaire, ce qui correspond à une surface incurvée dans l'espace initial de dimension inférieure. Par conséquent, la fonction noyau joue un rôle essentiel dans les machines à vecteurs de support.[26]

1.5.3 Modèles de forêts aléatoires (RF)

Les arbres de décision permettent de partitionner l'espace des variables explicatives en groupes homogènes. Les forêts aléatoires consistent à faire croître un ensemble d'arbres de décision.

À chaque embranchement de l'arbre, une fonction de segmentation fait intervenir une combinaison non linéaire des variables explicatives. Chaque arbre est optimisé en fonction de la sélection des variables associées à chaque fonction de segmentation.

Les prévisions obtenues par chaque arbre sont ensuite moyennées, ce qui permet de réduire la variance des prédictions. Afin de limiter la corrélation entre les arbres, chaque arbre est construit aléatoirement à partir d'une partie seulement des données. Les variables explicatives d'entrée ainsi que la base d'apprentissage utilisées sont similaires à celles des modèles de réseaux de neurones.[27]

1.5.4 XGBoost

XGBoost a été conçu en mettant l'accent sur l'optimisation matérielle et les concepts d'apprentissage automatique. Son algorithme est plus rapide que d'autres approches grâce à son calcul parallèle et distribué. L'objectif de XGBoost est de repousser les limites des machines afin de disposer d'une bibliothèque polyvalente, compacte et précise.[28]

XGBoost est un système évolutif de *tree boosting* capable de résoudre des problèmes à grande échelle en utilisant un nombre minimal de ressources. Le système implémente l'algorithme de *gradient boosting*, réalisant une optimisation additive dans l'espace fonctionnel.[28]

La nouveauté de XGBoost peut être décrite selon les trois perspectives suivantes :

- Il ajoute une composante de régularisation à la fonction de perte afin de prendre en compte la complexité de l'ensemble résultant parallèlement à la capacité prédictive à chaque division ;
- Il permet de limiter le surapprentissage du modèle grâce à l'ajustement de plusieurs hyperparamètres tels que la complexité de l'arbre, la complexité de la forêt, le taux d'apprentissage, les termes de régularisation ou encore les sous-espaces de colonnes ;
- Il peut gérer les données manquantes, énumérer efficacement les seuils potentiels de division et prendre en charge les plateformes distribuées.

1.5.5 Réseaux de neurones artificiels (RNA)

Selon Lotfi et Mesk (2021), les réseaux de neurones sont inspirés des systèmes neurobiologiques et reposent sur des structures cellulaires artificielles. Ils constituent une approche pertinente pour traiter des problèmes de perception, de mémoire et d'apprentissage, tout en offrant une alternative prometteuse aux méthodes numériques classiques. Le fonctionnement des RNA ressemble au fonctionnement du cerveau humain, il est composé de millions d'unités, chaque unité ou nœud a une synapse, cette dernière transforme des inputs qui sont en eux même l'output du nœud précédent. Les neurones d'entrée reçoivent les inputs (les entrées) de l'environnement (La base de données de l'extérieur). Des poids synaptiques s'affectent à chaque entrée, puis, les entrées pondérées sont sommées. Ces résultats se transforment en outputs par une fonction de transfert. Cette dernière peut être sous plusieurs formes (sigmoïde, hyperbolique tangente ou autre) [29].

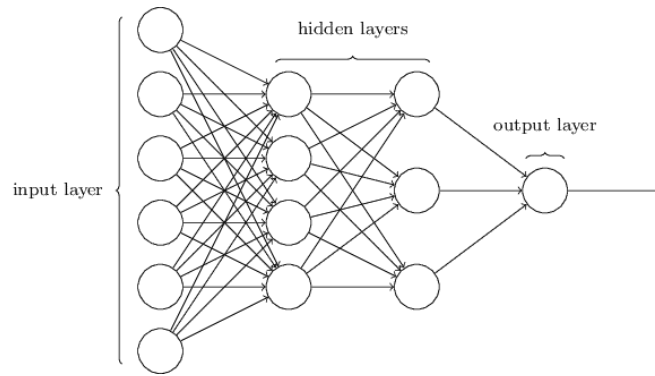


FIGURE 2.12 – Conception d'un Réseau de Neurones

1.5.6 Réseaux de mémoire longue à court terme (LSTM)

Le modèle LSTM (*Long Short-Term Memory*) est un type d'architecture de réseau neuronal récurrent particulièrement efficace pour la modélisation et la prédiction de séquences de données. Les LSTM disposent d'une cellule mémoire sophistiquée leur permettant de stocker, mettre à jour et récupérer sélectivement des informations sur de longues périodes. Ils sont ainsi adaptés aux tâches impliquant des dépendances temporelles et des relations à long terme.[30]

Équations de l'architecture LSTM :

$$F(t) = \sigma(W_f[H(t-1), X(t)] + B_f) \quad (2.24)$$

$$I(t) = \sigma(W_i[H(t-1), X(t)] + B_i) \quad (2.25)$$

$$O(t) = \sigma(W_o[H(t-1), X(t)] + B_o) \quad (2.26)$$

$$\hat{I}(t) = \tanh(W_i[H(t-1), X(t)] + B_i) \quad (2.27)$$

$$C(t) = F(t) \cdot C(t-1) + I(t) \cdot \hat{I}(t) \quad (2.28)$$

$$H(t) = O(t) \cdot \tanh(C(t-1)) \quad (2.29)$$

Où :

- | | |
|-------------------------------------|--|
| - $F(t)$: porte d'oubli ; | - W : matrice de poids ; |
| - $I(t)$: porte d'entrée ; | - $X(t)$: entrée ; |
| - $O(t)$: porte de sortie ; | - B : biais ; |
| - $C(t)$: état de la cellule ; | - $\sigma(\cdot)$: fonction d'activation sigmoïde ; |
| - $H(t)$: état caché ; | - $\tanh(\cdot)$: fonction tangente hyperbolique. |
| - $H(t-1)$: état caché précédent ; | |

2.5 Étude de la performance des modèles

D'après Stal-Le Cardinal et Pineau (2025), une prévision est par nature incertaine. Les entreprises mettent alors souvent en place des mesures de qualité de la prévision a posteriori pour vérifier la performance de cette dernière [18]. Parmi les méthodes permettant de mesurer l'erreur, on trouve :

- **Erreur brute de prévision (Et) :**

$$E_t = F_t - D_t \quad (2.30)$$

où F_t représente la prévision pour la période t , et D_t la valeur observée pour la période t .

- **La somme des carrés des résidus (MSE, pour Mean Squared Error) :** C'est la moyenne arithmétique des carrés de la différence entre les observations réelles et les valeurs prévues par le modèle de prévision.

$$\text{MSE}_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2 \quad (2.31)$$

- **L'erreur absolue moyenne (MAD, pour Mean Absolute Deviation) :** Cet indicateur permet de mesurer l'ampleur moyenne des erreurs dans un modèle de prévision. Un MAD faible signifie que les prévisions sont proches de la réalité.

$$\text{MAD}_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |E_t| \quad (2.32)$$

- **RMSE (Root Mean Squared Error) :** ou racine de l'erreur quadratique moyenne, est une mesure permettant d'évaluer l'ampleur moyenne des erreurs d'un modèle de prévision. Plus sa valeur est faible, plus les prédictions du modèle sont proches des valeurs réelles.

Sa formule est donnée par :

$$\text{RMSE}_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_t^2} \quad (2.33)$$

- **L'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE, Mean Absolute Percentage Error) :** Il représente le pourcentage moyen d'erreurs, ce qui le rend particulièrement pertinent dans les contextes marqués par une variation de la demande et une forte saisonnalité. Il permet également d'évaluer la précision des prévisions en tenant compte de leur amplitude.

$$\text{MAPE}_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{E_t}{D_t} \right| \times 100 \quad (2.34)$$

Sur cette base, Stal-Le Cardinal et Pineau (2025) concluent que les indicateurs mesurent différemment l'erreur moyenne d'ajustement. Le RMSE et MAD sont exprimés dans la même unité que la variable étudiée, $y(t)$. Le MAPE est exprimé en pourcentage : son interprétation est donc simple. Enfin, ces indicateurs sont universels et, du fait de leur importance, la plupart des logiciels de statistiques les fournissent automatiquement [18].

En conclusion, quel est le modèle d'ajustement qui sera retenu pour faire les prévisions ? Il s'agit du modèle qui présente les plus petites valeurs en termes de RMSE, MAD et MAPE [18].

2.6 La gestion des stocks

2.6.1 Les stocks

Un stock désigne l'ensemble des biens détenus par une entreprise à un instant donné, en attente d'être utilisés, transformés ou vendus. Il représente une provision de produits en instance de consommation, soulignant ainsi son caractère transitoire au sein du cycle d'exploitation.[31],

L'existence des stocks résulte de plusieurs inducteurs de différentes natures qui peut se regrouper en deux catégories,[32] :

- Les inducteurs actifs, sur lesquels l'entreprise exerce un contrôle direct, tels que la stratégie produit, la politique d'achat, les choix industriels, ou encore les contraintes de production et de transport qui imposent des commandes par lots.
- Les inducteurs passifs, que l'entreprise subit, parmi lesquels on peut citer : l'incertitude sur la demande future et la difficulté à anticiper les tendances du marché, les délais incompressibles d'approvisionnement, et la nécessité de se prémunir contre les aléas de livraison fournisseurs.

Ainsi, les stocks sont principalement constitués pour répondre à une demande incertaine qui ne peut être satisfaite intégralement par une production strictement à la commande.[33]

2.6.2 Gestion des stocks

La gestion des stocks désigne l'ensemble des méthodes, pratiques et processus visant à planifier, suivre, organiser et optimiser les niveaux de stocks ainsi que les flux de marchandises associés au sein de l'entreprise, depuis l'approvisionnement jusqu'à la sortie du stock. Son objectif principal est de garantir la disponibilité des bons produits, en bonne quantité, au bon endroit et au bon moment, tout en minimisant les coûts globaux liés au stockage.

Pour atteindre cet objectif, elle repose sur plusieurs missions fondamentales, notamment la prévision des besoins futurs, la planification des approvisionnements, le contrôle des niveaux de stock et l'optimisation des coûts liés à sa gestion.

Au-delà de sa dimension opérationnelle, la gestion des stocks constitue un levier stratégique de performance logistique et commerciale. Elle joue un rôle déterminant dans la satisfaction de la clientèle en permettant de définir à **quel moment s'approvisionner et en quelles quantités**.

Dès lors, un stock mal dimensionné peut entraîner soit des ruptures pénalisant le niveau de service, soit un surstock générant une immobilisation excessive de trésorerie, des coûts de possession élevés et des risques d'obsolescence. [34]

Les méthodes et outils de gestion des stocks

La gestion des stocks repose sur un ensemble de méthodes et d'outils que l'entreprise mobilise selon la nature de son activité et de ses produits. Les principales méthodes sont les suivantes,[35] :

- **Le forecasting** consiste à anticiper les besoins futurs en s'appuyant sur des données historiques de ventes, les tendances du marché et la saisonnalité, afin d'ajuster les niveaux de stock en conséquence.
- **Le point de commande** définit un seuil minimal de stock à partir duquel un réapprovisionnement est automatiquement déclenché, en tenant compte du délai de livraison fournisseur et de la demande moyenne.
- **L'analyse ABC** classe les références en trois catégories selon leur contribution au chiffre d'affaires : la catégorie A regroupe les produits les plus stratégiques (80 % du CA), la catégorie B les produits intermédiaires (15 %), et la catégorie C les produits à faible rotation (5 %).
- **La quantité économique de commande (QEC)**, également connue sous le nom de formule de Wilson, permet de déterminer la quantité optimale à commander afin de minimiser le coût total de gestion des stocks, en équilibrant coûts d'acquisition et coûts de possession.
- **Le Juste-à-Temps (JAT)**, popularisé par Toyota, vise à maintenir des niveaux de stock minimaux en se réapprovisionnant uniquement au moment où la demande se manifeste, réduisant ainsi les risques de surstock.
- **La méthode FIFO (Premier entré, premier sorti)** consiste à écouler en priorité les produits les plus anciens, particulièrement adaptée aux produits périssables ou susceptibles de devenir obsolètes.
- **La méthode LIFO (Dernier entré, premier sorti)** procède à l'inverse en vendant en priorité les produits les plus récemment acquis, une approche moins répandue et réservée à des contextes très spécifiques.

Des outils technologiques sont également utilisés : des techniques statistiques et d'intelligence artificielle pour effectuer les prévisions de la demande, des systèmes comme l'ERP et le WMS pour assurer la planification et le suivi des flux, et des technologies telles que les codes-barres ou la RFID pour garantir la traçabilité des stocks au sein de la chaîne logistique.

2.6.3 La gestion des stocks d'articles destinés à la production

En production, les flux d'entrées et de sorties concernent des produits de nature différente. Le processus exige simultanément la mise à jour des nomenclatures et l'ordonnancement de la production.[36]

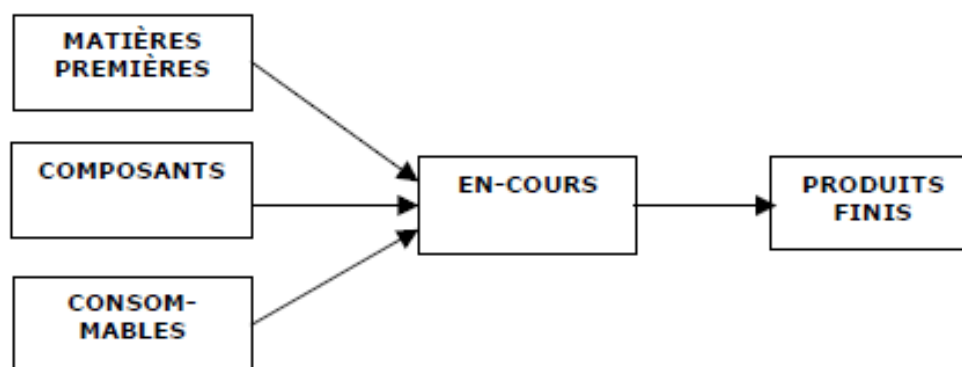


FIGURE 2.13 – Schéma des différents types de stocks dans le processus de production

L'influence de mode de production

Le réapprovisionnement en production se décompose en quatre étapes :

- estimation et prévision des commandes clients
- détermination des cadences de production en fonction des prévisions et des carnets de commande, des stocks de produits finis, des délais de livraisons, des en-cours de production et de l'horizon déterminé des plannings fermes
- détermination des besoins bruts en composants selon les cadences de production et les nomenclatures
- détermination des réapprovisionnements ou besoins nets en fonction des besoins bruts, des délais fournisseurs, des stocks disponibles et des en-cours des différents ateliers de fabrication

Les principaux types d'article de production

En matière de gestion des stocks, il convient de préciser si nous nous intéressons aux produits finis, aux en-cours, ou aux approvisionnements (matières premières, composants et autres consommables) et dans ce dernier cas, de s'attacher au type d'articles.

- **Les produits finis** dont la gestion vise à équilibrer les exigences commerciales de réactivité à la demande et les contraintes de stabilité des cadences de production.
- **Les en-cours** gérés à la fois pour le suivi financier en comptabilité analytique et pour garantir le respect du planning de charge des ateliers.
- **Les matières premières** dont la gestion dépasse les simples règles de stock pour intégrer la négociation des conditions d'achat et le financement des approvisionnements.
- **Les composants et consommables** gérés par la fonction achats avec pour priorité la satisfaction des besoins des ateliers dans le respect des délais et de la qualité.

2.6.4 La gestion des stocks d'articles destinés à la distribution par entrepôts

Dans un système de distribution par entrepôts éclatés, les points de vente sont approvisionnés à partir d'entrepôts régionaux, eux-mêmes rattachés à un entrepôt central et à une centrale d'achat. Le mode de distribution contraint ainsi la fonction approvisionnement à respecter des règles et méthodes spécifiques, d'autant que la nature des articles gérés impose ses propres contraintes.[36]

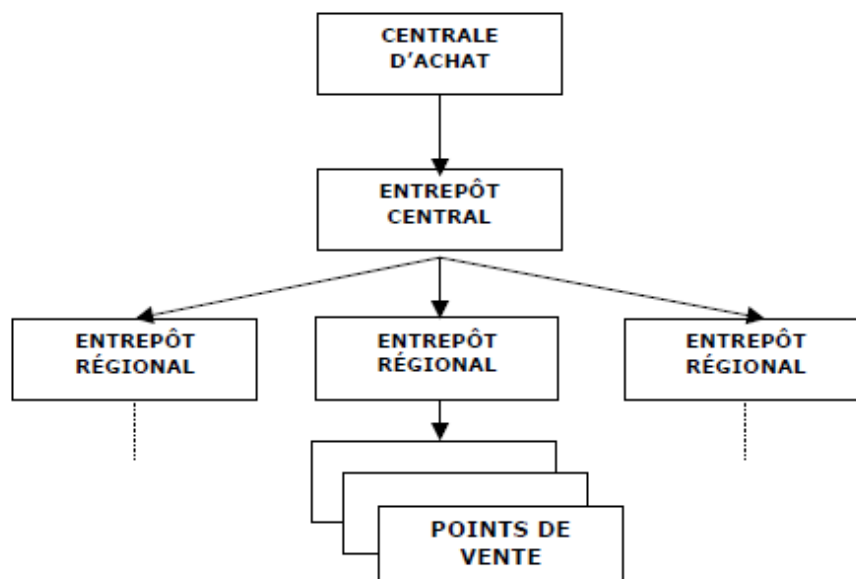


FIGURE 2.14 – Schéma de distribution par entrepôts étagés

On distingue généralement quatre types d'articles selon leur comportement de vente :

- **Les articles permanents à débit important**, gérés par des méthodes classiques avec des ajustements selon la saisonnalité ou la durée de vie du produit.
- **Les articles permanents à débit faible**, nécessitant une attention particulière sur le choix des articles et la méthode de réapprovisionnement en raison des contraintes fournisseurs.
- **Les articles de saison**, présents chaque année sur une période limitée, gérés par une commande globale passée plusieurs mois à l'avance.
- **Les articles de pure mode**, ne couvrant qu'une seule période, gérés par une commande unique nécessitant un arbitrage entre disponibilité et risque de surplus.

2.6.5 Politiques de la gestion des stocks

Les systèmes de gestion des stocks doivent permettre de répondre à deux questions intimement liées :

- À quel moment devons-nous réapprovisionner nos stocks ?
- Quelle quantité devons-nous commander ?

Quatre politiques de réapprovisionnement sont alors possibles :

	Quantité fixe	Quantité variable
Période Fixe	Méthode du réapprovisionnement fixe Ou modèle de Wilson	Méthode du Recomplètement
Période Variable	Méthode du point de commande	Approvisionnement par dates et quantités variables

Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les fondements théoriques nécessaires à la réalisation de notre projet. Dans un premier temps, nous avons abordé les principaux concepts liés à la supply chain, en mettant en évidence l'importance de l'alignement entre la stratégie de l'entreprise et celle de la chaîne d'approvisionnement. Nous avons ensuite présenté les différentes méthodes de prévision de la demande, allant des approches statistiques de lissage aux techniques d'intelligence artificielle, ainsi que les indicateurs d'évaluation de la performance prédictive des modèles. Enfin, nous avons étudié les principaux concepts et outils de gestion des stocks, leurs inducteurs, ainsi que les méthodes de dimensionnement des niveaux de stock et les politiques de réapprovisionnement associées.

L'ensemble de ces éléments constitue le cadre conceptuel sur lequel s'appuiera la solution proposée. Dans ce qui suit, nous déploierons l'ensemble de ces concepts et outils dans le développement de notre démarche de résolution et la conception de la solution retenue.

Chapitre 3

Résolution de la problématique : de la donnée brute au pilotage opérationnel

Introduction

Dans l'optique de répondre à la problématique soulevée dans le premier chapitre, nous nous intéressons à la demande en produits actifs commercialisés par TotalEnergies Lubrifiants Algérie. Une étude prévisionnelle est donc indispensable pour analyser l'évolution et le comportement de cette dernière.

À l'aide d'une classification ABC-XYZ, combinant divers critères ayant une incidence sur la gestion des stocks et leur variabilité, nous définissons le champ d'application de notre étude. Nous procédons ensuite à la prévision de la demande à l'aide de modèles statistiques et d'autres modèles basés sur l'apprentissage automatique, avant de passer à la validation du modèle grâce aux indicateurs de performance adéquats. Après cela, nous utilisons les résultats des prévisions pour élaborer une politique de stock adaptée, visant à assurer à la fois une réponse à la demande des clients et une minimisation des coûts de production.

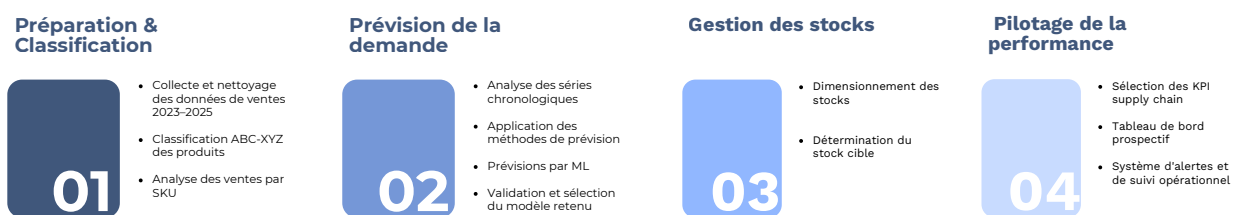


FIGURE 3.1 – Vue d'ensemble de la démarche et de l'organisation du chapitre 3

3.1 Préparation et traitement des données

Afin de mener à bien notre analyse, l'équipe Supply Chain de TELA a mis à notre disposition l'historique des ventes des produits commercialisés sur la période 2023–2025. Les données disponibles se composaient de deux bases complémentaires : une première relative au suivi des commandes clients et les quantités commandées ; et une seconde relative aux ventes réalisées par commande, permettant d'analyser les quantités finalement facturées et les livraisons effectuées. Nous avons procédé à un processus de nettoyage des données afin de garantir leur qualité et leur fiabilité, à travers la correction des valeurs manquantes, la suppression des doublons et la vérification des incohérences éventuelles. À l'issue de cette étape, une base de données centralisée a ensuite été construite en consolidant, pour chaque SKU et par mois, les données de commandes, de ventes et de disponibilité produit (stock et production). Cette consolidation a permis de reconstituer un historique de demande plus représentatif du marché réel, en intégrant les cas où les ventes étaient limitées par des contraintes de disponibilité plutôt que par une faible demande. Ensuite, les données ont été corrigées selon le calendrier afin de neutraliser les effets des jours fériés et des variations du nombre de jours ouvrables. Enfin, un traitement des valeurs atypiques (par rapport à un intervalle de confiance calculé par SKU sur une base annuelle) a été réalisé afin de stabiliser les séries chronologiques. Une fois les données nettoyées, nous avons utilisé des méthodes de visualisation pour illustrer clairement les patterns et anomalies éventuelles.

3.2 Classification des produits

Afin de bien cerner notre étude et d'agir sur les produits les plus influents, nous avons procédé à une analyse ABC-XYZ. Le choix d'une segmentation statique est cohérent avec la nature de notre étude, qui vise à construire et valider une méthode de prévision et de gestion des stocks à partir d'un historique donné. Une segmentation dynamique aurait introduit une variabilité supplémentaire dans les classes et aurait complexifié l'évaluation comparative des modèles développés. Dans l'optique de classer les produits de la meilleure manière, nous avons retenu deux critères : les quantités consommées ainsi que le prix de vente, tous deux intégrés dans la classification ABC. Par ailleurs, notre classification prend en compte leur variabilité à travers les classes XYZ.

Classification ABC

Les stocks sont catégorisés selon le principe de Pareto, en prenant comme paramètres de classification la consommation et le prix de vente, comme le montre le tableau suivant.

Classe	Description
A	Produits avec une pondération de la consommation et du prix de vente élevée. Nécessitent une surveillance étroite de leur gestion des stocks.
B	Produits avec une pondération de la consommation et du prix de vente moyenne.
C	Produits avec une pondération de la consommation et du prix de vente faible.

TABLE 3.1 – Description des classes ABC

Classification XYZ

L'analyse XYZ est utilisée lorsque la demande peut varier considérablement d'un produit à un autre, et ce comme le montre le tableau suivant.

Classe	Description
X	Produits à faible variabilité de la consommation.
Y	Produits à variabilité moyenne de la consommation.
Z	Produits à forte variabilité de la consommation.

TABLE 3.2 – Description des classes XYZ

Le classement est effectué selon la variabilité de la consommation par rapport à sa moyenne, à travers le coefficient de variation, calculé comme suit :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

Combinaison ABC-XYZ

La combinaison des deux classifications aboutit à la matrice suivante :

	A	B	C
X	Produits à forte consommation et prix élevé, avec faible variabilité, nécessitant une gestion constante.	Produits à consommation et prix moyens à faible variabilité.	Produits à faible consommation et faible variabilité, nécessitant des stocks de sécurité limités.
Y	Produits à forte consommation et prix élevé avec variabilité modérée, nécessitant une surveillance régulière.	Consommation et prix moyens, variabilité moyenne, demandant une gestion intermédiaire avec prévisions fiables.	Produits à faible consommation et variabilité moyenne, nécessitant des ajustements périodiques.
Z	Produits à forte consommation et prix élevé à forte variabilité, demandant une gestion rigoureuse.	Produits à consommation et prix moyens avec forte variabilité, requérant une gestion minutieuse.	Produits à faible consommation et forte variabilité, demandant une gestion minimale avec stocks réduits.

TABLE 3.3 – Matrice ABC-XYZ

Après le calcul du score pondéré combinant consommation et prix de vente pour chaque produit, les références sont classées par ordre décroissant, la somme cumulée croissante est calculée

et les seuils de Pareto sont appliqués. En combinant ensuite cette classification avec celle issue de l'analyse XYZ, basée sur le coefficient de variation de la consommation, les résultats récapitulatifs obtenus sont présentés dans le tableau figurant en annexe.

Dans ce qui suit, l'horizon de notre étude concernera les classes AX, AY, BX et BY, regroupant les produits à fort enjeu commercial et à variabilité significativement faible à modérée, pour lesquels une prévision fiable est la plus appropriée. Les produits retenus dans ce cadre sont présentés dans le tableau ??.

Code Produit	Classification ABC-XYZ
P001	AX
P002	AX
P003	AX
P004	AX
P005	AX
P006	AX
P007	AX
P008	AX
P009	AX
P010	AY
P011	AY
P012	AY
P013	AY
P014	AY
P015	AY
P016	BY
P017	BY
P018	BY
P019	BY
P020	BY
P021	BY
P022	BY
P023	BY

TABLE 3.4 – Codification des produits selon les classes AX, AY, BX et BY

3.3 Analyse des ventes des produits

TotalEnergies commercialise plusieurs produits sous différents formats. La figure ci-dessous présente l'évolution de la part des quantités vendues en pourcentage du tonnage net total facturé, pour l'ensemble des produits retenus dans le cadre de la classification ABC-XYZ, sur la période 2023–2025, soit un historique de 36 mois.

Cet horizon a été retenu en comparaison avec la période précédente, qui correspond à la pandémie de COVID-19 et au lancement d'un nouveau site de production à Oran, lequel a progressivement augmenté sa part de marché. Les trois dernières années constituent donc un historique de ventes suffisamment représentatif.

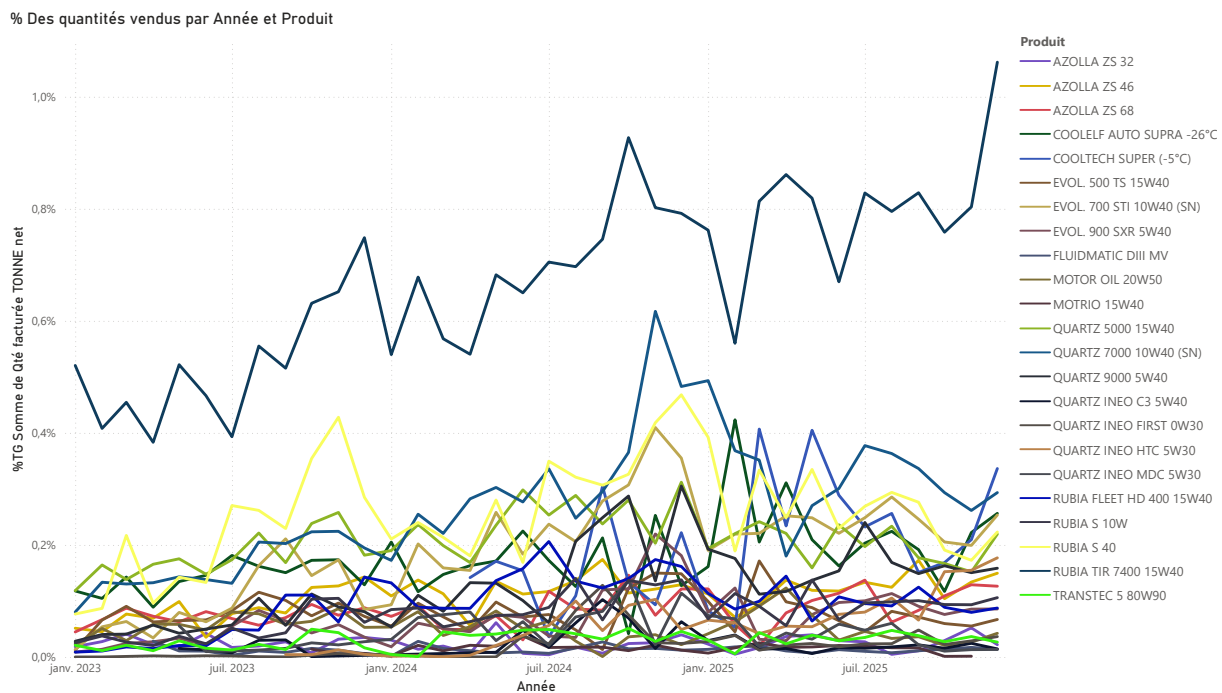


FIGURE 3.2 – Quantités vendues par produit (2023–2025)

La figure montre une forte irrégularité des ventes pour la majorité des produits. Les volumes varient considérablement d'un produit à l'autre, ce qui confirme que la demande est rarement stable et nécessite une analyse de la série chronologique de chaque produit avant de valider la méthode de prévision adoptée.

Certains produits, tel que le RUBIA TIR 7400 15W40, affichent une tendance générale à la hausse accompagnée de fluctuations importantes, ce qui suggère l'existence d'une saisonnalité ou de fréquence de commandes liés aux habitudes d'approvisionnement des clients de TotalEnergies.

Une première observation de l'évolution de ces courbes met en évidence des variations récurrentes sur certaines périodes de l'année. Dans la suite de cette étude, des tests statistiques appropriés seront menés afin d'analyser le comportement de chaque série de ventes.

Dans ce qui suit, nous allons procéder avec des méthodes auto-projectives, étant donné que la modélisation causale consiste à prévoir la demande en se basant sur des facteurs externes. Le secteur des lubrifiants est soumis à l'influence de nombreux facteurs dont certains sont difficilement quantifiables, leur estimation introduirait une source d'erreur supplémentaire dans les résultats et affecterait la fiabilité des modèles. C'est pourquoi nous avons retenu les méthodes de prévision basées sur les séries chronologiques, qui présentent non seulement une meilleure adéquation aux données disponibles, mais sont également plus opérationnelles dans le contexte de la planification de la demande.

3.4 Prévisions de la demande

Dans ce qui suit, nous allons mener notre analyse prévisionnelle sur l'un des produits (P004) ; les autres traitements se trouvent en annexe.

3.4.1 Analyse informelle de la série chronologique

Dans cette partie, nous commençons par une visualisation de la série chronologique afin d'identifier la structure temporelle de cette dernière (tendance, saisonnalité, stationnarité) visuellement. Le graphique ci-dessous montre l'évolution des quantités vendues de 2023 à 2025 ainsi qu'un corrélogramme, qui nous permettent d'analyser les composantes principales.

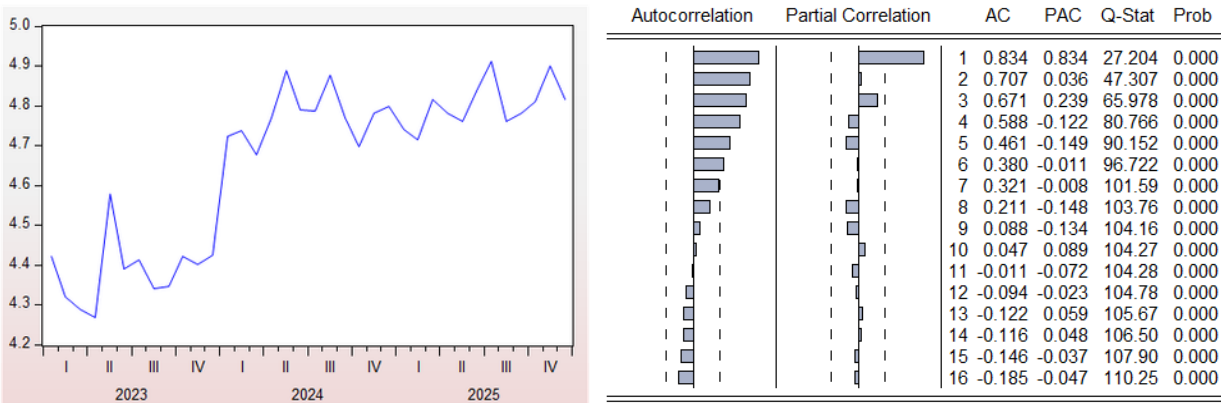


FIGURE 3.3 – Analyse informelle de la série chronologique

Sur l'ensemble de la période observée, on remarque une hausse qui n'est ni régulière ni linéaire. On observe également des fluctuations. Ce comportement suggère la présence d'une composante saisonnière et, vu que la moyenne évolue au fil du temps, la série ne semble pas stationnaire, ce qui est également confirmé par l'analyse du corrélogramme : les coefficients d'autocorrélation décroissent sans jamais s'annuler, avec des pics significatifs jusqu'à un nombre élevé de lags.

En conclusion, cette analyse informelle montre une série caractérisée par une non-stationnarité mais on ne peut identifier clairement la tendance, ce qui nécessite une confirmation par des tests statistiques formels, notamment le test de Dickey-Fuller augmenté, avant de passer à l'estimation et à la validation du modèle de prévision le plus adapté.

3.4.2 Analyse formelle de la série chronologique : tests statistiques

Avant de choisir une méthode de prévision, il est indispensable de caractériser formellement le comportement de la série. En effet, le choix d'une méthode inadaptée aux propriétés statistiques de la série conduit à des prévisions biaisées et peu fiables. Cette étape préliminaire repose sur deux tests statistiques complémentaires :

1. le test ANOVA pour la saisonnalité
2. le test de Dickey-Fuller Augmenté (ADF) pour la stationnarité et la tendance

Test de Fisher

Pour juger formellement de l'existence ou de l'absence d'une saisonnalité, nous devons réaliser un test ANOVA sur Excel.

$$\begin{cases} H_0 : P\text{-value} > 0,05 & \text{Les moyennes mensuelles ne sont pas significativement différentes,} \\ & \text{donc saisonnalité absente.} \\ H_1 : P\text{-value} < 0,05 & \text{Au moins deux moyennes mensuelles sont significativement différentes,} \\ & \text{donc saisonnalité présente.} \end{cases}$$

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	777,6730	11	70,6975	0,12339	0,99954	2,21631
A l'intérieur des groupes	13751,5340	24	572,9806			
Total	14529,2070	35				

FIGURE 3.4 – Test ANOVA

Les résultats montrent une $P\text{-value} = 0,99954$, ce qui est supérieur à 5%. Nous rejetons alors l'hypothèse H_1 . Les moyennes mensuelles ne sont donc pas significativement différentes.

Le test ANOVA appliqué aux quantités vendues du produit P004 ne permet pas de confirmer l'existence d'une saisonnalité statistiquement significative. Cette conclusion sera complétée par les tests de tendance et de stationnarité effectués sur EViews afin de caractériser pleinement le comportement de la série chronologique du produit.

Test de Dickey Fuller (Test de racine unitaire)

À cette étape, nous allons utiliser le test de racine unitaire en suivant la méthodologie du test expliquée dans le chapitre précédent. Nous commençons par estimer le modèle [6] et tester la significativité des paramètres b et c (une tendance et une constante) :

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

Si la $p\text{-value}$ associée à b est inférieure à 5 %, nous acceptons l'hypothèse alternative H_1 et rejetons l'hypothèse nulle H_0 .

Les résultats du test sont montrés dans la figure ci-dessous et la probabilité associée à b (**@trend**) est de 0,07. Par conséquent, nous acceptons l'hypothèse nulle H_0 , ce qui implique que la tendance n'est pas significative. Nous passons par la suite au modèle [5] et nous lançons le test de Dickey-Fuller augmenté sur la constante c .

$$\begin{cases} H_0 : c = 0 & c \text{ n'est pas significativement différent de } 0 \\ H_1 : c \neq 0 & c \text{ est significativement différent de } 0 \end{cases}$$

La probabilité associée à c est de 0,19, ce qui est supérieur à la p -value. Nous acceptons alors l'hypothèse nulle H_0 , ce qui confirme l'absence de la constante.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(QUANTITES_VENDUES) Method: Least Squares Date: 05/01/26 Time: 01:45 Sample (adjusted): 2023M06 2025M12 Included observations: 31 after adjustments					Augmented Dickey-Fuller Test Equation Dependent Variable: D(QUANTITES_VENDUES) Method: Least Squares Date: 05/01/26 Time: 01:46 Sample (adjusted): 2023M06 2025M12 Included observations: 31 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
QUANTITES_VENDUES(-1)	-0.408441	0.180257	-2.265880	0.0328	QUANTITES_VENDUES(-1)	-0.109301	0.090978	-1.201404	0.2409
D(QUANTITES_VENDUES(-1))	-0.045601	0.209674	-0.217487	0.8297	D(QUANTITES_VENDUES(-1))	-0.295399	0.171104	-1.726426	0.0966
D(QUANTITES_VENDUES(-2))	0.003247	0.214210	0.015156	0.9880	D(QUANTITES_VENDUES(-2))	-0.235924	0.181656	-1.298736	0.2059
D(QUANTITES_VENDUES(-3))	0.312320	0.192775	1.620130	0.1183	D(QUANTITES_VENDUES(-3))	0.145616	0.180101	0.808525	0.4264
D(QUANTITES_VENDUES(-4))	0.480253	0.169515	2.833103	0.0092	D(QUANTITES_VENDUES(-4))	0.359533	0.164960	2.179519	0.0389
C	31.45233	13.57181	2.317475	0.0283	C	13.30566	10.08722	1.319061	0.1991
@TREND("2023M01")	0.683312	0.361101	1.892300	0.0706					
R-squared	0.488551	Mean dependent var	0.840645		R-squared	0.412243	Mean dependent var	0.840645	
Adjusted R-squared	0.360689	S.D. dependent var	10.36278		Adjusted R-squared	0.294691	S.D. dependent var	10.36278	
S.E. of regression	8.285759	Akaike info criterion	7.262633		S.E. of regression	8.702935	Akaike info criterion	7.337183	
Sum squared resid	1647.691	Schwarz criterion	7.586437		Sum squared resid	1893.527	Schwarz criterion	7.614729	
Log likelihood	-105.5708	Hannan-Quinn criter.	7.368185		Log likelihood	-107.7263	Hannan-Quinn criter.	7.427656	
F-statistic	3.820917	Durbin-Watson stat	1.802395		F-statistic	3.506915	Durbin-Watson stat	1.672753	
Prob(F-statistic)	0.008163				Prob(F-statistic)	0.015417			

FIGURE 3.5 – Test DF modèle [6] et [5]

En suivant le schéma du chapitre précédent, nous passons au modèle [4] et testons la racine unitaire.

$$\begin{cases} H_0 : \phi_1 = 0 & \phi_1 \text{ n'est pas significativement différent de 1} \\ H_1 : \phi_1 \neq 0 & \phi_1 \text{ est significativement différent de 1} \end{cases}$$

En suivant la même logique de la p -value, nous acceptons l'une des deux hypothèses. Les résultats du test sont montrés dans la figure ci-dessous.

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	1.274255	0.9454
Test critical values:		
1% level	-2.636901	
5% level	-1.951332	
10% level	-1.610747	

FIGURE 3.6 – Test DF modèle [4]

On remarque que la probabilité associée à ϕ_1 est supérieure à la p -value, ce qui indique l'existence d'une racine unitaire. Il convient donc d'adopter un processus permettant de stationnariser la série. Dans la logique du test, un processus DS (difference stationary) est nécessaire pour la stationnarisation.

Ce test s'effectue par différenciation :

$$Y = dquantites_vendues = quantites_vendues_t - quantites_vendues_{t-1}$$

De la même logique, nous refaisons de nouveau le test de Dickey-Fuller, cette fois-ci sur la série différenciée « Y ». Les résultats sur EViews ci-dessous montrent une absence de tendance et de constante. Nous rejetons également l'existence d'une racine unitaire. La série est donc stationnaire.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DIFF)
Method: Least Squares
Date: 05/01/26 Time: 01:53
Sample (adjusted): 2023M04 2025M12
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DIFF(-1)	-1.824340	0.263558	-6.921963	0.0000
D(DIFF(-1))	0.437419	0.167592	2.610030	0.0142
C	5.494176	3.877956	1.416771	0.1672
@TREND("2023M01")	-0.144605	0.180817	-0.799732	0.4304
R-squared	0.704948	Mean dependent var	-0.262424	
Adjusted R-squared	0.674425	S.D. dependent var	17.31729	
S.E. of regression	9.881101	Akaike info criterion	7.532337	
Sum squared resid	2831.448	Schwarz criterion	7.713732	
Log likelihood	-120.2836	Hannan-Quinn criter.	7.593371	
F-statistic	23.09591	Durbin-Watson stat	2.098432	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DIFF)
Method: Least Squares
Date: 05/01/26 Time: 01:54
Sample (adjusted): 2023M04 2025M12
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DIFF(-1)	-1.815142	0.261721	-6.935418	0.0000
D(DIFF(-1))	0.432739	0.166480	2.599343	0.0143
C	2.732962	1.755033	1.557214	0.1299
R-squared	0.698441	Mean dependent var	-0.262424	
Adjusted R-squared	0.678337	S.D. dependent var	17.31729	
S.E. of regression	9.821564	Akaike info criterion	7.483546	
Sum squared resid	2893.894	Schwarz criterion	7.629592	
Log likelihood	-120.6435	Hannan-Quinn criter.	7.539321	
F-statistic	34.74147	Durbin-Watson stat	2.060879	
Prob(F-statistic)	0.000000			

FIGURE 3.7 – Test DF modèle [6] et [5]

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.077247	0.0381
Test critical values:		
1% level	-2.641672	
5% level	-1.952066	
10% level	-1.610400	

FIGURE 3.8 – Test DF modèle [4]

Application des méthodes de prévision

1- Techniques de lissage

Une série peut sembler simple d'un point de vue statistique tout en présentant des variations difficiles à anticiper à court terme. C'est pourquoi, en complément de l'analyse statistique préalablement menée, des méthodes de lissage sont appliquées à la série chronologique. Ces méthodes couvrent un spectre allant de la plus simple à la plus complète.

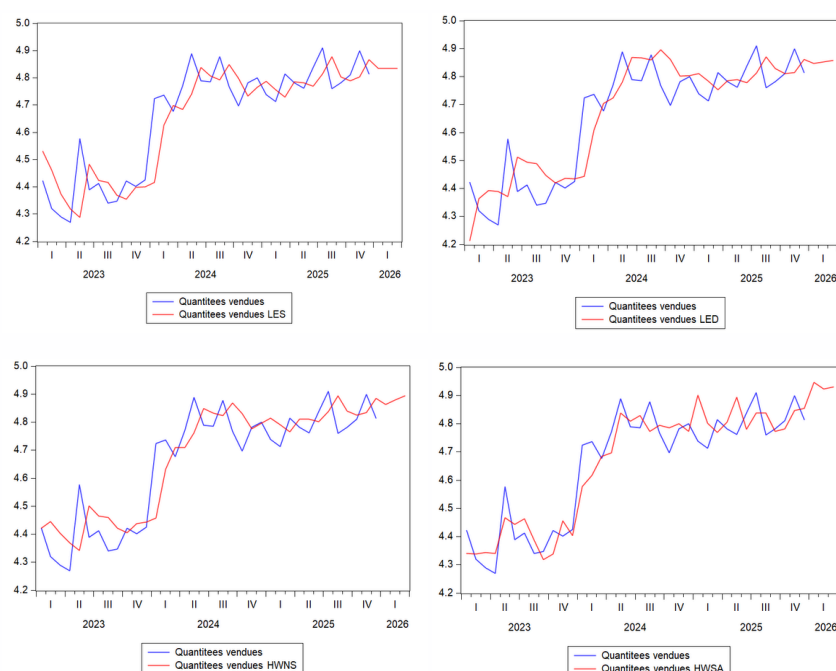


FIGURE 3.9 – Représentation des prévisions sur 3 mois (Technique de lissage)

L'application des méthodes de lissage a permis d'obtenir des prévisions pour le produit retenu. Le tableau ci-dessous présente une synthèse des métriques d'erreur obtenues par méthode.

Méthode	MAD	MSE	RMSE	MAPE
Moyenne Mobile Simple (MMS)	11.2	238.7	15.4	9.3
Lissage Exponentiel Simple (LES)	7.9	103.4	10.2	7.4
Lissage Exponentiel Double (LED)	8.4	109.1	10.4	8.1
Holt-Winters Non Saisonnier (HWNS)	7.9	95.1	9.7	7.6
Holt-Winters Saisonnier Additif (HWSA)	6.6	64	8	6.1

TABLE 3.5 – Résultats des techniques de lissage

Malgré des performances satisfaisantes, ces méthodes supposent une forme fixe de la tendance et de la saisonnalité, et ne sont pas en mesure de capturer des ruptures de niveau ou des interactions non linéaires entre les périodes. Ces limites motivent le recours à des approches complémentaires, présentées dans les parties suivantes.

2- La méthodologie Box-Jenkins (BJ)

À cette étape, nous savons que la série est stationnaire et nous devons choisir le modèle $ARMA(p, q)$ le plus adapté.

Pour ce faire, nous utilisons la fonction *Automatic ARIMA Forecasting*. Le résultat sont montrées dans la figure suivante.

Ainsi, le modèle expert sélectionné par EViews est $ARMA(5, 1)$. Un autre test doit être effectué afin de valider le modèle.

Automatic ARIMA Forecasting
Selected dependent variable: DIFF
Date: 05/01/26 Time: 01:58
Sample: 2023M01 2025M12
Included observations: 35
Forecast length: 0
Model maximums: (12,12)2(0,0)
Regressors: C

Number of estimated ARMA models: 169
Number of non-converged estimations: 0
Selected ARMA model: (5,1)(0,0)
AIC value: 7.48841405159

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(5)	-0.394020	0.164515	-2.395045	0.0226
MA(1)	-0.255937	0.200569	-1.276054	0.2111
SIGMASQ	88.27401	17.35343	5.086833	0.0000

R-squared	0.215070	Mean dependent var	1.146571	
Adjusted R-squared	0.166012	S.D. dependent var	10.75958	
S.E. of regression	9.825971	Akaike info criterion	7.515814	
Sum squared resid	3089.590	Schwarz criterion	7.649130	
Log likelihood	-128.5267	Hannan-Quinn criter.	7.561835	
Durbin-Watson stat	1.921100			

Inverted AR Roots	.67-.49i	.67+.49i	-.26+.79i	-.26-.79i
	-.83			
Inverted MA Roots	.26			

FIGURE 3.10 – Modèle candidat (1)

Validation du modèle : pour pouvoir valider le modèle, deux types de tests doivent être menés, à savoir :

1. test sur les paramètres estimés
2. tests de portemanteau (pour la normalité et le bruit blanc)

1. Test sur les paramètres :

$$\begin{cases} P\text{-value}(\varphi) = 0.00 < 0.05 & H_1 \text{ acceptée} \\ P\text{-value}(\theta) = 0.9998 > 0.05 & H'_0 \text{ acceptée} \end{cases}$$

Le but est de confirmer l'effet du paramètre φ dans le modèle (φ est significativement différent de zéro), ainsi que de confirmer que θ n'a pas d'effet significatif dans le modèle (θ n'est pas significativement différent de zéro).

2. Test de normalité (Jarque-Bera) :

$$\begin{cases} H_0 : \text{Probability} > \alpha & \text{La série suit la loi normale.} \\ H_1 : \text{Probability} < \alpha & \text{La série ne suit pas la loi normale.} \end{cases}$$

3. Test de bruit blanc (BB) :

$$\begin{cases} H_0 : \text{les résidus sont de bruit blanc (BB).} \\ H_1 : \text{les résidus ne sont pas de bruit blanc (BB).} \end{cases}$$

Les résultats montrent que la $p\text{-value}$ de $AR(5)$ est égale à 0,0226 et la $p\text{-value}$ de $MA(1)$ est égale à 0,2111.

On observe que la $p\text{-value}$ de $MA(1)$ est supérieure à 0,05. Le modèle $ARMA(5, 1)$ n'est donc pas retenu. Par ailleurs, nous testons le modèle $AR(5)$ individuellement comme suit :

Dependent Variable: DIFF
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 05/01/26 Time: 02:02
Sample: 2023M02 2025M12
Included observations: 35
Convergence achieved after 12 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(5)	-0.465690	0.141491	-3.291314	0.0024
SIGMASQ	91.98457	18.95806	4.852003	0.0000
R-squared	0.182076	Mean dependent var		1.146571
Adjusted R-squared	0.157290	S.D. dependent var		10.75958
S.E. of regression	9.877216	Akaike info criterion		7.508706
Sum squared resid	3219.460	Schwarz criterion		7.597583
Log likelihood	-129.4023	Hannan-Quinn criter.		7.539386
Durbin-Watson stat	2.296074			
Inverted AR Roots	.69-.50i -.86	.69+.50i	-.27+.82i	-.27-.82i

FIGURE 3.11 – Modèle candidat (2)

Les résultats montrent que la $p\text{-value}$ de $AR(5)$, égale à 0,0226, est inférieure à 0,05. Le modèle $AR(5)$ est donc retenu. Nous passons ensuite aux tests de bruit blanc et de normalité, comme ils sont montrés ci-dessous.

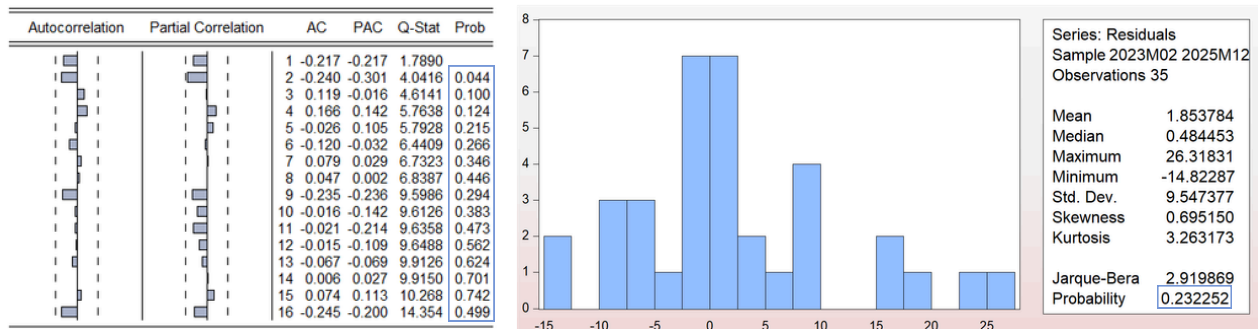


FIGURE 3.12 – Test sur les résidus : tests de portemanteau

Test de normalité : la *Probability* = 0,232252 est supérieure à 0,05. L'hypothèse H_0 est donc acceptée, confirmant la normalité des résidus.

Test de bruit blanc (BB) : il existe une *p-value* inférieure à 0,05, donc l'hypothèse H_1 est acceptée. Les résidus ne constituent donc pas un bruit blanc, Le modèle n'a donc pas capturé l'ensemble de la structure de la série, et ses prévisions ne peuvent pas être considérées comme fiables.

Conclusion : La démarche Box-Jenkins a été appliquée à l'ensemble des produits. Cependant, les tests de validation des résidus ne sont pas concluants. Les erreurs présentent des structures d'autocorrélation résiduelles et des non-normalités qui invalident les hypothèses. Ce résultat s'explique principalement par la complexité des séries de ventes de TELA. Ces limitations ont conduit au rejet de cette approche et ont motivé l'exploration des méthodes de Machine Learning.

Prévisions basées sur le Machine Learning

Dans cette partie, nous voulons utiliser d'autres techniques de prévisions basées sur les outils du Machine Learning afin de déterminer si cette approche moderne peut offrir une précision et une robustesse supérieures dans la prévision de la demande des lubrifiants.

le choix d'un modèle ne se résume pas à ses performances théoriques mais il doit être ancré dans les contraintes réelles du contexte opérationnel, à savoir :

- Le premier critère concerne le volume de données disponible. Avec seulement 36 mois d'historique, nous avons besoin de modèles capables de généraliser efficacement sans tomber dans le surapprentissage.
- Le deuxième critère est lié à la nature des séries chronologiques étudiées. Les ventes présentent des comportements complexes et parfois non linéaires, ce qui nécessite des modèles capables de capturer ces dynamiques sans hypothèses restrictives.
- Nous avons également pris en considération la présence de valeurs atypiques, notamment les pics et les creux liés aux ruptures de stock ou aux contraintes de disponibilité. Les modèles retenus devaient être suffisamment robustes pour distinguer ces événements ponctuels des tendances réelles de la demande.
- Par ailleurs, les analyses statistiques réalisées précédemment ont montré que les données ne respectaient pas toujours les hypothèses de normalité ou de linéarité. Nous avons donc

- privilegié des approches ne reposant pas sur des hypothèses distributionnelles fortes.
- Enfin, nos prévisions sont destinées à alimenter les décisions de planification, d'approvisionnement et de gestion des stocks. Il était donc essentiel de garantir une bonne précision sur un horizon de prévision moyen terme.

Sur la base de ces critères, plusieurs modèles ont été étudiés dans la littérature et évalués. Cependant, deux modèles se sont particulièrement distingués par leur adéquation avec notre contexte : Random Forest, reconnu pour sa robustesse face aux données bruitées et aux relations non linéaires, et LSTM, spécialement conçu pour les séries chronologiques et capable de capturer les dépendances temporelles complexes.

Ces deux modèles ont donc été retenus pour la phase finale d'expérimentation et d'évaluation. Un tableau synthétisant l'ensemble des avantages et des contraintes des différentes méthodes par rapport à notre contexte est présenté dans l'annexe 3.

Cette analyse comparative nous a permis de retenir les modèles de Long Short-Term Memory (LSTM) et de Random Forest comme les approches les plus adaptées pour la réalisation des prévisions.

Génération des données synthétiques

L'historique de ventes des lubrifiants disponible couvre une période de 36 mois, ce qui constitue un volume de données insuffisant pour l'entraînement des modèles Random Forest et LSTM. Ce faible volume peut engendrer plusieurs problèmes :

- **Sur-apprentissage (overfitting)** : le modèle, en particulier LSTM dont l'architecture comporte un nombre important de paramètres, risque de mémoriser les observations disponibles plutôt que d'en extraire des motifs généralisables, ce qui se traduit par de bonnes performances sur les données d'entraînement mais une dégradation significative des prévisions sur de nouvelles données.
- **Interprétation erronée du bruit comme signal** : avec un faible volume de données, une variation accidentelle peut être assimilée à une tendance ou un motif structurel, rendant le modèle trop réactif aux valeurs récentes et produisant des prévisions peu fiables.
- **Difficultés de validation** : la réservation d'une partition de test représentant 20 à 30 % des données réduit l'ensemble d'entraînement à un volume très limité, ce qui compromet la fiabilité des métriques d'évaluation et rend difficile toute conclusion robuste sur les performances réelles du modèle.

Afin de remédier à ceci, nous avons généré des données synthétiques dans le but d'enrichir la base d'entraînement et d'améliorer la robustesse des performances prédictives.

Néanmoins, nous reconnaissons que l'intégration de nouvelles données doit être réalisée avec précaution, car des données synthétiques de faible qualité ou mal distribuées peuvent introduire du bruit, altérer les relations statistiques existantes et réduire la précision des prévisions. Il est donc essentiel que les données générées reproduisent fidèlement la structure des données réelles, en respectant à la fois leur distribution globale et les corrélations entre variables.

Nous avons réalisé l'implémentation sous Python à l'aide de la bibliothèque SDV (*Synthetic Data Vault*), spécialisée dans la génération de données synthétiques. Après l'entraînement du modèle sur l'historique disponible, nous avons généré 84 nouvelles observations. Avant leur intégration dans notre processus de prévision, nous avons considéré qu'une étape d'évaluation

de leur qualité était indispensable afin de vérifier leur niveau de similarité avec les données d'origine et de nous assurer qu'elles constituent une extension fiable et pertinente du jeu de données initial. Afin d'évaluer la qualité des données synthétiques générées, nous avons utilisé la fonction `evaluate_quality()` proposée par la bibliothèque SDV. Cette fonction permet de comparer les données réelles aux données synthétiques à travers deux métriques principales :

- **Column Shapes** : basée sur le test de Kolmogorov-Smirnov, cette métrique mesure la similarité des distributions marginales de chaque variable entre les données réelles et synthétiques.
- **Column Pair Trends** : basée sur le coefficient de corrélation, cette métrique vérifie dans quelle mesure les relations et dépendances entre les paires de variables sont préservées dans les données générées.

Le score global correspond à une moyenne pondérée de ces deux métriques, fournissant ainsi une évaluation synthétique de la qualité générale des données produites. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.6.

Column Shapes	Column Pair Trends	Score Global
82 %	92 %	87 %

TABLE 3.6 – Évaluation de la qualité des données synthétiques générées

Le score **Column Shapes** de 82 % confirme une bonne similarité entre les distributions des données réelles et synthétiques, tandis que le score **Column Pair Trends** de 92 % atteste d'une préservation satisfaisante des corrélations entre les variables. Par ailleurs, le score global de 87 %, supérieur au seuil d'acceptabilité de 80 % retenu dans le cadre de cette étude, valide la qualité des données synthétiques générées.

Ce seuil a été fixé comme critère interne d'évaluation, en cohérence avec les pratiques de validation généralement utilisées pour les données synthétiques.

En conséquence, nous avons retenu ces données comme extension fiable du jeu de données initial et les avons intégrées à l'ensemble d'entraînement en vue de l'application des modèles Random Forest et LSTM.

1- Application du modèle Random Forest

Le Random Forest se base sur un grand nombre d'arbres de décision entraînés sur des sous-échantillons bootstrap des données d'entraînement, puis agrège leurs prédictions par moyenne. Ce mécanisme présente deux effets critiques dans notre contexte :

- Réduction de la variance : en faisant la moyenne des prédictions de N arbres entraînés sur des sous-échantillons différents, le Random Forest réduit la variance du modèle. Au lieu qu'un seul arbre mémorise les données, ce qu'on appelle le surapprentissage, le modèle de forêt aléatoire nous permet de produire une prédiction stable grâce à N arbres.
- Robustesse aux outliers : les pics et les commandes saisonnières présentant des valeurs atypiques n'influencent qu'un sous-ensemble d'arbres, mais pas la prédiction globale.
- Pas d'hypothèse distributionnelle : contrairement à la régression linéaire, qui suppose une normalité des erreurs, ou au SVR (choix du kernel), le Random Forest n'impose aucune hypothèse sur la distribution des données, ce qui est particulièrement adapté aux séries de ventes irrégulières de TELA.

Pour l’application du modèle Random Forest, plusieurs paramètres ont été définis dans le but d’améliorer la qualité des prévisions. Le modèle repose sur un ensemble de 200 arbres de décision avec une profondeur maximale fixée à 10 pour limiter le overfitting tout en conservant une bonne capacité d’apprentissage des tendances des ventes.

Les features utilisées incluent les retards temporels des ventes des trois derniers mois, ainsi que des moyennes mobiles sur 3 et 6 mois permettant de capter les tendances récentes et la dynamique de la demande.

Les données ont ensuite été divisées en deux ensembles afin d’évaluer la capacité du modèle à généraliser les prévisions : 80 % pour l’entraînement et 20 % pour le test (validation walk-forward). les résultats de prévisions pour les 3 mis à venir sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Mois	Jan 2026	Fév 2026	Mar 2026
Prévisions des ventes en utilisant le modèle RF	119	120,66	118,8

TABLE 3.7 – Prévisions des ventes du produit P004 en utilisant le modèle RF

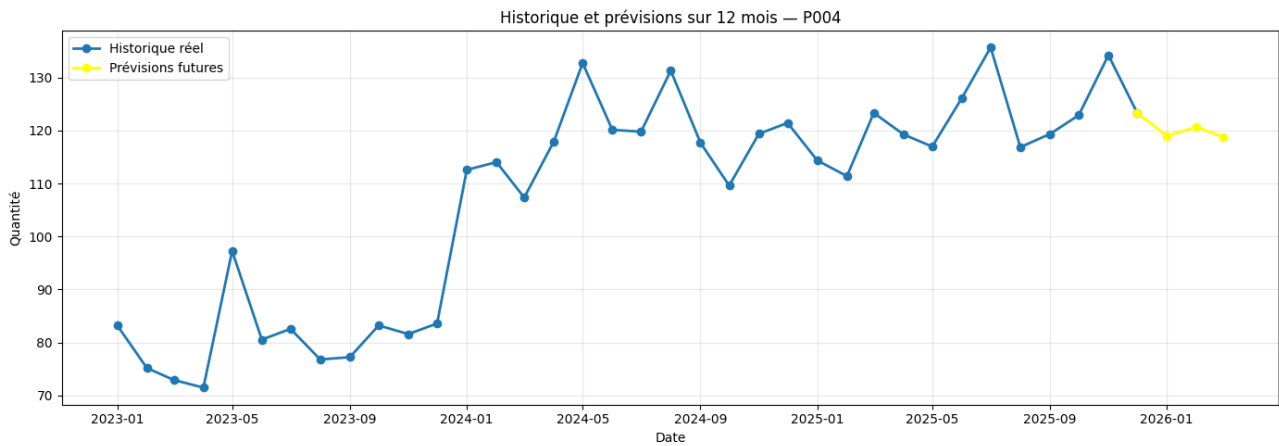


FIGURE 3.13 – Représentation des prévisions de P004 sur 3 mois (Random Forest)

Le modèle Random Forest enregistre un MAPE de 5,34 % pour les ventes du produit P004, indiquant un niveau d’erreur demeurant dans des limites acceptables, qui traduit un niveau d’erreur relativement faible et une bonne fiabilité des prévisions.

2- Application du modèle LSTM

Le LSTM (Long Short-Term Memory) est une architecture de réseau de neurones récurrents (RNN) particulièrement adaptée à la prévision de séries temporelles grâce à sa capacité à capturer les dépendances à long terme dans les données.

Le modèle a été développé à l’aide de la bibliothèque *Keras* de *TensorFlow*. Son architecture est composée de deux couches LSTM de **16** et **8** neurones, suivies d’une couche de sortie *Dense*. Des couches *Dropout* (**20 %**) sont intégrées afin de limiter le surapprentissage.

Après sa construction, le modèle est compilé en utilisant la fonction de perte *MSE* (*Mean Squared Error*) et l’optimiseur *RMSprop*. Le modèle exploite un *look-back* de **6 périodes**, ce qui signifie que les six observations précédentes sont utilisées pour prédire la période suivante.

Enfin, un mécanisme d’*Early Stopping* est utilisé afin d’interrompre automatiquement l’entraînement lorsque les performances cessent de s’améliorer.

Le code complet du modèle LSTM développé est présenté en Annexe .

En prenant comme exemple de prévision en utilisant le modèle LSTM, le produit P004.

Mois	Jan 2026	Fév 2026	Mar 2026
Prévisions des ventes en utilisant le modèle (LSTM)	117.75	116.33	117.00

TABLE 3.8 – Prévisions des ventes du produit P004 en utilisant le modèle (LSTM)

Le graphe suivant est représentatif des prévisions par le modèle LSTM par rapport aux ventes réelles.



FIGURE 3.14 – Représentation des prévisions de P004 sur 3 mois (LSTM)

Le modèle LSTM affiche un MAPE de 4.41% pour les ventes du produit P004, traduisant une erreur moyenne de prévision inférieure à 5%, ce qui reflète une bonne capacité prédictive du modèle sur les données de test.

Les résultats des prévisions réalisées à l’aide du modèle LSTM pour l’ensemble des autres produits sont présentés en Annexe 0.

Validation et selection du modèle de prévision

Afin de valider les modèles de prévision développés, une comparaison des performances prédictives des algorithmes Random Forest et LSTM est réalisée sur la base d’indicateurs d’erreur quantitatifs. À titre illustratif, le produit P004 est retenu comme référence de comparaison. Les métriques d’évaluation adoptées sont les mêmes que celles mobilisées lors de l’étude des méthodes de lissage, à savoir : le *MAD* (*Mean Absolute Deviation*), le *MSE* (*Mean Square Error*), le *RMSE* (*Root Mean Square Error*) et le *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*). Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 3.9.

Indicateur d'erreur	Valeur pour (Random Forest)	Valeur pour (LSTM)
MAD	7	5.71
MSE	89.32	70.52
RMSE	9.45	8.39
MAPE	5.34%	4.41%

TABLE 3.9 – Comparaison des indicateurs d'erreur entre Random Forest et LSTM

L'analyse du tableau révèle que le modèle LSTM affiche des valeurs d'erreur systématiquement inférieures à celles du modèle Random Forest pour l'ensemble des indicateurs considérés, traduisant une meilleure capacité à reproduire les valeurs réelles de l'ensemble de test. Afin de généraliser cette comparaison à l'ensemble des produits étudiés, la moyenne des erreurs *MAPE* est calculée pour chacun des deux modèles et pour chaque produit faisant l'objet de l'étude. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 3.10

TABLE 3.10 – Comparaison du MAPE (%) entre LSTM et Random Forest

Produit	Mape% LSTM	Mape% RF	Produit	Mape% LSTM	Mape% RF
P001	5.19%	5.51%	P013	30.44%	36.67%
P002	5.89%	5.87%	P014	12.00%	10.95%
P003	1.91%	4.47%	P015	5.50%	12.37%
P004	4.41%	5.34%	P016	5.61%	5.32%
P005	3.97%	6.25%	P017	4.83%	15.56%
P006	7.41%	5.29%	P018	17.12%	19.32%
P007	12.30%	9.48%	P019	3.53%	7.62%
P008	1.05%	1.54%	P020	10.51%	15.95%
P009	2.44%	3.27%	P021	11.59%	17.56%
P010	13.53%	9.28%	P022	1.92%	6.00%
P011	5.92%	4.28%	P023	9.22%	28.98%
P012	7.41%	7.63%	Moy produits	7.99%	10.63%

Les résultats obtenus indiquent que le modèle LSTM génère une erreur moyenne de 7,99 %, contre 10,63 % pour le modèle Random Forest, soit un écart de performance en faveur du premier.

Par ailleurs, les méthodes économétriques testées produisent des résultats moins performants comparativement aux modèles d'intelligence artificielle.

En conséquence, les prévisions issues du modèle LSTM sont retenues comme référence pour le calcul des niveaux de stock dans les étapes à suivre de la solution proposée.

3.4.3 Déclinaison des prévisions par site (Oran & Blida)

Les prévisions de la demande obtenues à l'issue de la phase de modélisation constituent des estimations agrégées à l'échelle nationale de TELA. Or, la structure logistique de TELA repose sur deux sites de distribution distincts : l'usine d'Oran et l'entrepôt de Blida, chacun desservant une zone géographique définie et répondant à des bassins de demande différenciés. Afin de rendre ces prévisions opérationnelles et directement exploitables par les responsables de chaque site, il est apparu nécessaire de procéder à leur déclinaison à ce niveau de granularité.

Analyse de la répartition historique des ventes par site

Pour chaque SKU retenu dans le périmètre de l'étude, une analyse de l'historique de l'année 2025 a été conduite afin de déterminer la part mensuelle des ventes réalisée sur chacun des deux sites. Cette analyse permet d'établir, pour chaque produit i et chaque mois m , un taux de répartition α défini comme suit :

$$\alpha_{i,\text{site}} = \frac{\sum_m Q_{i,\text{site},m}}{\sum_m Q_{i,\text{total},m}}$$

Où

- $Q_{i,\text{site},m}$ désigne la quantité vendue du produit i sur le site considéré au mois m ;
- $Q_{i,\text{total},m}$ la quantité totale vendue au niveau national.

Projection des prévisions agrégées à l'échelle des sites

Une fois les taux de répartition établis, les prévisions agrégées issues des modèles retenus ont été ventilées par site selon la formule suivante :

$$\hat{Q}_{i,\text{site},t} = \hat{Q}_{i,\text{total},t} \times \alpha_{i,\text{site}}$$

Où

- $\hat{Q}_{i,\text{total},t}$ représente la prévision nationale du produit i pour le mois t ;
- $\hat{Q}_{i,\text{site},t}$ la prévision déclinée pour le site considéré.

Cette approche présente l'avantage de s'appuyer sur des modèles de prévision robustes, construits sur un historique agrégé suffisamment riche, tout en restituant une vision désagrégée cohérente avec les flux réels observés sur chaque site.

Disposer de prévisions désagrégées par site permet d'alimenter le calcul du stock de sécurité et du stock cible propre à chaque site, en tenant compte de la demande réelle attendue localement plutôt qu'une demande agrégée nationale ;

Ainsi, cette étape assure la cohérence entre la modélisation de la demande et les décisions opérationnelles prises à chaque niveau de la chaîne.

3.5 Politique de gestion de stock

Dans le cadre de l'élaboration de la politique de stock, le calcul des niveaux de stock constitue une étape fondamentale.

Stock de sécurité

Le stock de sécurité est la première grandeur à déterminer. Il représente une réserve tampon destinée à absorber les aléas de la demande et les variabilités des délais de livraison, afin d'éviter toute rupture de stock.

Son calcul repose sur les hypothèses suivantes :

- La consommation est supposée suivre une loi normale, conformément au théorème central limite.
- Le taux de satisfaction client est défini en fonction de la classe du produit, ce qui permet de déterminer pour chaque produit le coefficient de sécurité z correspondant via la loi normale, conformément à sa classe (ABC-XYZ).
- Le délai de réapprovisionnement moyen (Lead Time) est connu et supposé constant.

La formule utilisée est celle de la loi normale :

$$SS = Z \times \sigma_d \times \sqrt{DL}$$

Où :

- Z : coefficient de sécurité déterminé par le taux de service souhaité via la table de la loi normale
- σ_d : écart-type de la demande, mesurant la volatilité de la consommation sur la période
- DL : délai de réapprovisionnement moyen

Le taux de service et le coefficient Z sont définis en fonction du croisement entre la classification ABC et XYZ, comme le présente le tableau suivant :

	SKU niveau A		SKU niveau B		SKU niveau C	
Classification	Taux de service	Z	Taux de service	Z	Taux de service	Z
X	98%	2.69	94%	1.56	90%	1.29
Y	96%	1.75	93%	1.47	87%	1.13
Z	95%	1.64	92%	1.41	85%	1.04

Nous nous intéressons uniquement aux valeurs des produits des classes AX, AY, BX et BY.

La couverture du stock de sécurité est ensuite calculée, représentant le nombre de jours durant lesquels le stock de sécurité est capable de couvrir la demande en cas d'aléas, selon la relation suivante :

$$C_{SS} = \frac{SS}{D_{\text{journalière}}}$$

Où :

- SS : stock de sécurité du produit
- $D_{\text{journalière}}$: demande journalière moyenne, obtenue en divisant la demande mensuelle prévue par 30 jours

Calcul du stock de sécurité par site

Le calcul du stock de sécurité est réalisé séparément pour les sites de Blida et d'Oran afin de tenir compte des spécificités de la demande propre à chaque unité. En effet, les deux sites desservent des zones géographiques différentes et enregistrent des volumes de ventes distincts, ce qui engendre des niveaux de consommation et des variabilités de demande différents.

Répartition de la demande par site

La première étape consiste à répartir la demande globale entre les sites de Blida et d'Oran. Cette répartition est effectuée à partir des données commerciales et des règles d'affectation logistique appliquées par TELA. Les informations relatives aux clients, notamment leur wilaya, leur région et leur zone de distribution, permettent d'identifier la part de la demande associée à chaque site.

Ainsi, pour chaque produit, les volumes de ventes sont ventilés entre les deux sites afin de déterminer la demande moyenne et la variabilité de la demande propres à chaque unité.

Calcul du stock de sécurité par site

Une fois la demande répartie, le stock de sécurité est calculé pour chaque produit et pour chaque site selon la méthode présentée précédemment. Cette approche permet d'adapter le niveau de protection contre les ruptures aux caractéristiques de consommation observées localement.

Les résultats obtenus pour les sites de Blida et d'Oran sont présentés dans le tableau suivant. Le stock de sécurité global de l'entreprise correspond, pour chaque produit, à la somme des stocks de sécurité calculés pour les deux sites.

$$SS_{\text{Total}} = SS_{\text{Blida}} + SS_{\text{Oran}} \quad (3.1)$$

Les résultats de ce calcul sont donnés dans le tableau 3.11

Produit	Stock sécurité TELA	SS Oran	SS Blida	Couverture
P001	26,84	8,56	18,27	8,53
P002	34,45	12,85	21,60	11,64
P003	285,43	105,91	179,52	11,30
P004	30,60	11,66	18,94	7,88
P005	77,55	30,15	47,40	10,52
P006	58,23	14,93	43,30	9,12
P007	95,49	18,47	77,03	9,25
P008	46,79	14,38	32,41	9,23
P009	83,17	38,29	44,89	9,98
P010	95,12	18,41	76,71	13,39
P011	87,27	23,33	63,94	11,70
P012	32,52	18,09	14,43	10,79
P013	44,12	11,10	33,03	17,64
P014	31,43	9,77	21,66	12,04
P015	42,40	10,57	31,83	14,74
P016	4,19	0,94	3,26	10,18
P017	9,38	2,93	6,45	15,40
P018	11,90	3,09	8,81	13,86
P019	9,83	2,45	7,38	9,75
P020	11,29	2,51	8,77	14,41
P021	24,87	5,07	19,80	14,64
P022	7,70	7,70	0,00	18,36
P023	21,91	5,69	16,22	17,97

TABLE 3.11 – Stock de sécurité et sa couverture par produit et site

Stock roulant

Le stock roulant représente la quantité moyenne de produit consommée entre deux réapprovisionnements successifs. Il constitue la composante dynamique du stock, destinée à couvrir la demande courante durant le cycle de production, par opposition au stock de sécurité qui couvre les aléas. Son intégration dans le modèle permet de dimensionner les niveaux de stock en tenant compte des contraintes de production, contribuant ainsi à la réduction des coûts de stockage, des délais et couts de production.

Le calcul du stock roulant suit la démarche suivante :

En premier lieu, les prévisions de la demande mensuelle, issues de la première étape de la solution présentée, sont divisées par la quantité minimale de production par lot afin de déterminer la fréquence nécessaire de production :

$$F = \frac{D_{\text{prévu}}}{\text{Batch}_{\text{min}}}$$

Ensuite, le stock roulant est obtenu en divisant la période de référence de 30 jours par cette

fréquence :

$$SR = \frac{30}{F}$$

Où :

- $D_{\text{prévu}}$: demande mensuelle prévue du produit
- $Batch_{\text{min}}$: quantité minimale de production par lot
- F : fréquence de production nécessaire
- SR : stock roulant exprimé en jours

Pour le modèle, la période de référence de 30 jours est retenue conformément à la maille temporelle du modèle de prévision, qui génère des estimations à l'échelle mensuelle.

Les résultats de ce calcul sont donnés dans le tableau 3.12

TABLE 3.12 – Paramètres de stock ordonnés par code produit

Produit	Batch min	Freq	SR
P001	100	0,94	31,79
P002	100	0,89	33,78
P003	180	4,21	7,12
P004	17	6,85	4,38
P005	180	1,23	24,42
P006	100	1,92	15,66
P007	180	1,72	17,43
P008	100	1,52	19,73
P009	100	2,50	12,00
P010	100	2,13	14,08
P011	100	2,24	13,40
P012	17	5,32	5,64

Produit	Batch min	Freq	SR
P013	100	0,75	39,97
P014	100	0,78	38,31
P015	17	5,08	5,91
P016	17	0,73	41,25
P017	17	1,07	27,91
P018	17	1,51	19,81
P019	17	1,78	16,86
P020	17	1,38	21,72
P021	17	3,00	10,01
P022	17	0,74	40,53
P023	17	2,15	13,94

Stock cible

Le stock cible représente le niveau de stock à maintenir, couvrant à la fois la demande courante et les aléas. Il est défini comme la somme du stock roulant et de la couverture du stock de sécurité, cette dernière étant exprimée en jours selon la relation suivante :

$$S_{\text{cible}} = SR + C_{SS}$$

Où :

- SR : stock roulant exprimé en jours
- C_{SS} : couverture du stock de sécurité

Les résultats de ce calcul sont donnés dans le tableau 3.13

TABLE 3.13 – Stock cible par produit

Produit	Stock cible (Jr)
P001	40,33
P002	45,41
P003	18,42
P004	12,26
P005	34,94
P006	24,77
P007	26,68
P008	28,97
P009	21,98
P010	27,47
P011	25,10
P012	16,43

Produit	Stock cible (Jr)
P013	57,61
P014	50,35
P015	20,64
P016	51,42
P017	43,32
P018	33,67
P019	26,61
P020	36,13
P021	24,65
P022	58,88
P023	31,90

3.6 Pilotage de la performance à TELA

L'évaluation de la performance occupe une place centrale dans toute démarche de pilotage. Chez TELA, une telle évaluation s'avère nécessaire au regard des dysfonctionnements identifiés dans le chapitre 01, lesquels résultent principalement d'un manque de suivi. En conséquence, les équipes ne peuvent être alertées en temps réel des déséquilibres entre l'offre et la demande.

La mise en place d'un tableau de bord prospectif, fondé sur des indicateurs clés de performance (KPI) rigoureusement sélectionnés et actualisés quotidiennement, constitue une réponse opérationnelle à cette lacune. Il ne s'agit pas d'un simple outil de reporting, mais d'un véritable outil de pilotage permettant à la direction supply chain, aux équipes commerciales ainsi qu'à la direction générale de prendre des décisions fondées sur des données actualisées.

Le Dashboard est conçu d'une manière prospective et opérationnelle, actualisé chaque jour (J-1). Il se fonde sur quelques principes, notamment :

- Orienté décision : le dashboard est conçu pour ne pas juste montrer des informations, mais chaque KPI doit répondre à une question de gestion précise avec une alerte si le seuil est dépassé.
- Codé couleur (feux tricolores) :
 - o vert = objectif atteint ;
 - o orange = zone de vigilance ;
 - o rouge = alerte (déclenchement d'une action corrective).
- Actualisé J-1 : les données sont extraites quotidiennement depuis SAP via des requêtes automatisées.
- Lecture multi-niveaux :

- vue Direction (KPI agrégés) ;
 - vue Supply Chain (détail SKU/site) ;
 - vue Commerciale (canal/région/client).
- Interopérable avec les prévisions RF : les prévisions alimentent les KPI de précision et de paramétrage des stocks.

Sélection des indicateurs clés de performance (KPI)

Le pilotage de la performance supply chain nécessite la mise en place d'un système de mesure structuré et cohérent avec les objectifs stratégiques de TELA. Dans cette optique, un ensemble d'indicateurs clés de performance (KPI) a été sélectionné sur la base de deux critères principaux : leur pertinence par rapport aux dysfonctionnements identifiés lors du diagnostic, et leur faisabilité de calcul à partir des données disponibles. Ces KPI couvrent deux dimensions essentielles :

- la précision des prévisions ;
- la gestion des stocks.

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des KPI retenus, accompagnés de leur objectif, de leur seuil d'alerte et de leur formule de calcul.

KPI	Objectif	Seuil d'alerte	Formule de calcul
Taux de croissance YoY (%)	Mesurer l'évolution des volumes vendus par rapport à l'année précédente.	$> 0\%$	$\frac{V_N - V_{N-1}}{V_{N-1}} \times 100$ où V_N est le volume vendu de l'année courante et V_{N-1} le volume vendu de l'année précédente.
Forecast Accuracy (%)	Évaluer la précision des prévisions par rapport aux ventes réelles.	$> 85\%$	$FA = \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{ R_i - P_i }{R_i} \right) \times 100$ où R_i : vente réelle du mois i, P_i : prévision du mois i.
Écart Réel vs Prévision (%)	Quantifier l'écart relatif entre les ventes réalisées et les prévisions.	$< 10\%$	$\frac{ R - P }{P} \times 100$ où R représente les ventes réelles et P les prévisions.
Couverture réelle (jours)	Mesurer le nombre de jours couverts par le stock disponible actuel.	$\geq C_{\text{cible}}$	$C_r = \frac{S}{D_j}$ où S est le stock disponible et D_j la demande moyenne journalière.

KPI	Objectif	Seuil d'alerte	Formule de calcul
Couverture cible (jours)	Définir le niveau de couverture optimal selon la demande prévisionnelle.	$\geq DL + SS$	$C_{\text{cible}} = DL + z \times \sigma_D \times \sqrt{DL}$ où DL est le délai de livraison, z le facteur de service et σ_D l'écart-type de la demande.
Couverture stock de sécurité (jours)	Vérifier que le stock de sécurité couvre les aléas de demande et de délai.	$\geq SS_{\min}$	$C_{SS} = \frac{SS}{D_j}$ où SS est le stock de sécurité et D_j la demande moyenne journalière.
Nb. SKU en sur-stock	Identifier les références dont le stock dépasse le seuil cible.	$= 0$	$N_{\text{sur}} = \sum \mathbf{1}(C_{r,k} > C_{\text{cible},k})$ où $C_{r,k}$ est la couverture réelle du SKU k .
Nb. SKU en sous-stock	Identifier les références exposées à un risque de rupture.	$= 0$	$N_{\text{sous}} = \sum \mathbf{1}(S_k < SS_k)$ où S_k représente le stock disponible du SKU k et SS_k son stock de sécurité.
Rotation des stocks	Mesurer la fréquence de renouvellement du stock sur une période donnée.	$\geq r_{\text{cible}}$	$r = \frac{CA}{\bar{S}}$ avec $\bar{S} = \frac{S_{\text{début}} + S_{\text{fin}}}{2}$ où CA représente le coût des articles vendus et $\bar{S}$ le stock moyen.

TABLE 3.14 – KPI retenus pour le pilotage de la prévision et des stocks

Par ailleurs, en raison des ajustements qui peuvent être établis mensuellement, des mesures de FA N-1 et FA N-3 ont été ajoutées selon les besoins opérationnels de TELA, afin de permettre une évaluation comparative de la qualité des prévisions à deux horizons temporels distincts. La FA N-3, calculée trois mois avant le mois de consommation, reflète la capacité d'anticipation de la Supply Chain et conditionne les décisions structurelles telles que la planification de la production sur le site d'Oran et le dimensionnement des stocks au dépôt de Blida. La FA N-1, quant à elle, mesure la précision de la dernière prévision disponible avant le mois de livraison et constitue la référence opérationnelle sur laquelle s'appuient les équipes logistiques pour préparer les expéditions vers les régions Centre, Est, Ouest et Sud.

Élaboration du tableau de bord

Un tableau de bord a été conçu sous Power BI afin de centraliser le suivi de la performance supply chain de TELA. Les données sont extraites quotidiennement depuis SAP et actualisées à J-1, garantissant ainsi une aide à la décision en temps quasi-réel. Les figures suivantes présentent

les pages du tableau de bord élaboré.

Tableau de Bord de Prédiction de la demande

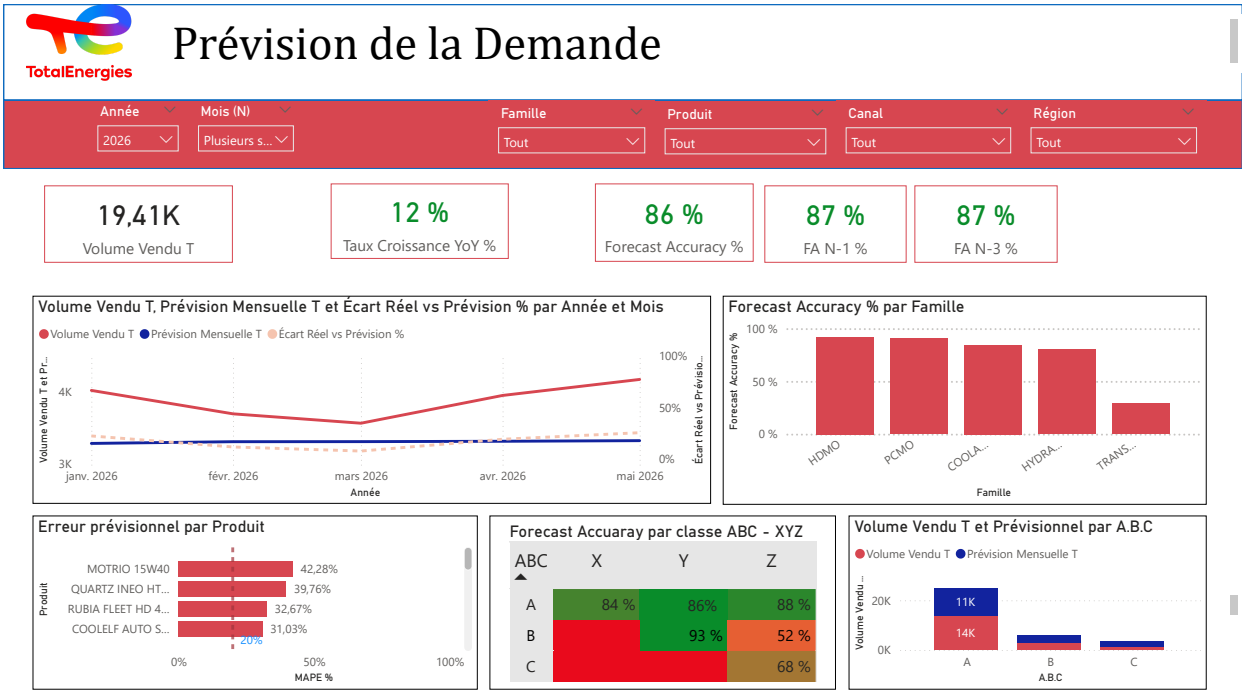


FIGURE 3.15 – Tableau de Bord de Prédiction de la demande

Tableau de Bord de Planification des Stocks

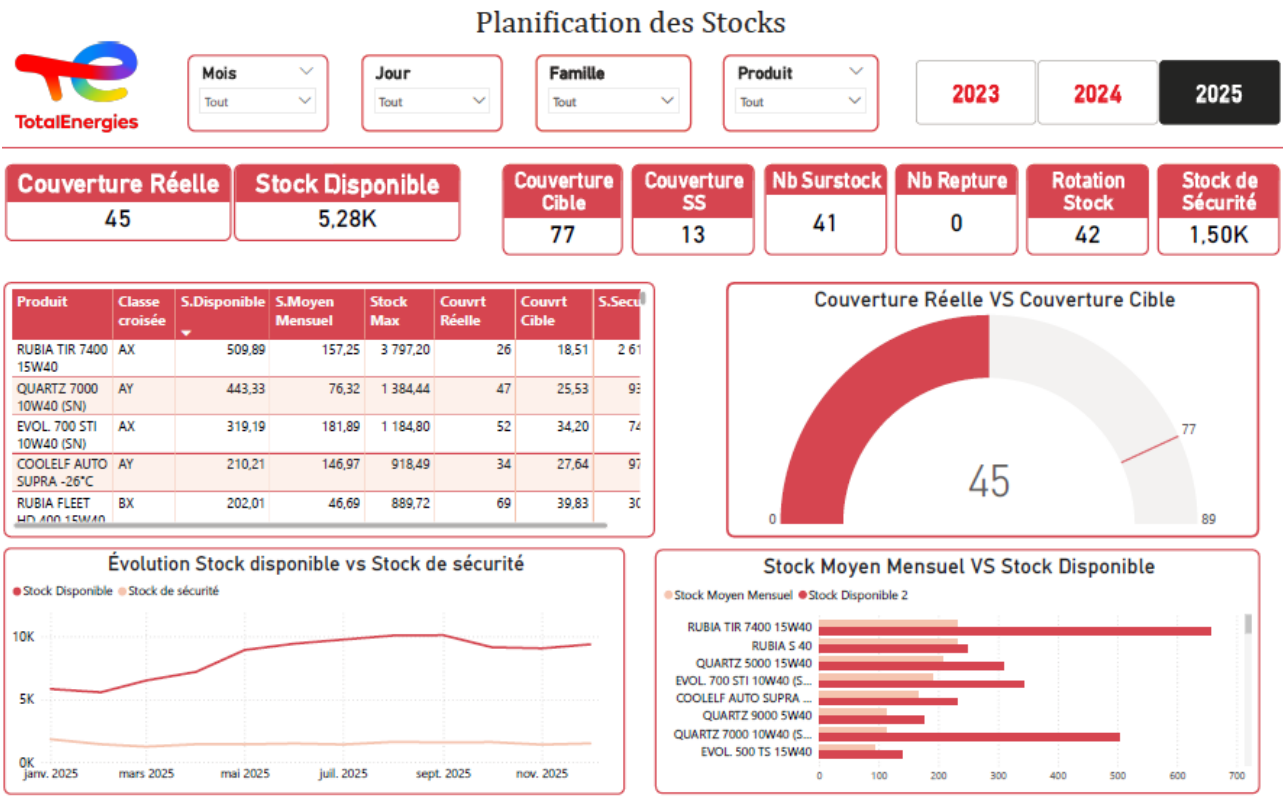


FIGURE 3.16 – Tableau de Bord de Planification des Stocks

3.7 Synthèse, recommandations et perspectives

Ce projet de fin d'études a permis de concevoir et de déployer une solution intégrée de gestion prévisionnelle des stocks au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie. Les résultats obtenus confirment la viabilité de l'approche adoptée et ouvrent la voie à plusieurs axes d'amélioration et de développement futurs.

notre travail a permis de répondre à la problématique initialement formulée.

- Nous avons tout d'abord développé un modèle de prévision capable d'améliorer significativement l'anticipation de la demande.
- Nous avons ensuite proposé des outils permettant un meilleur pilotage des disponibilités et des niveaux de stock.
- Enfin, nous avons formulé des recommandations concrètes visant à améliorer durablement la performance de la chaîne d'approvisionnement.

Ainsi, Le modèle retenu permet d'améliorer le FA de près de 16 %. Cette amélioration représente un levier important pour la planification des approvisionnements et la gestion des disponibilités,

La deuxième contribution de ce travail réside dans la mise en place d'un dimensionnement des stocks plus réactif, intégrant directement les prévisions de la demande issues du modèle retenu. Cette approche permet d'aboutir à un dimensionnement optimal des niveaux de stock, réduisant à la fois les situations de surstock et les risques de rupture sur les références stratégiques.

En adoptant une politique de gestion différenciée selon le comportement de chaque produit, tant en termes de criticité commerciale que d'instabilité de la demande, notre démarche permet de réduire significativement les coûts liés au stockage tout en améliorant le taux de service de l'entreprise et la disponibilité de ses produits.

Cette amélioration de la disponibilité constitue ainsi une contribution financière pour l'entreprise, en limitant les ventes perdues liées aux ruptures et en libérant la trésorerie immobilisée dans les surstocks, tout en renforçant la position de TotalEnergies Lubrifiants Algérie sur son marché grâce à une meilleure satisfaction client et une fidélisation accrue de sa clientèle.

les solutions proposées renforcent ainsi la performance globale de la Supply Chain de TotalEnergies Lubrifiants Algérie.

Recommandations opérationnelles

Sur le plan opérationnel, il est recommandé de :

- Réviser périodiquement les paramètres de stock : les seuils de stock de sécurité, les couvertures cibles et les points de commande doivent être recalibrés à une fréquence trimestrielle afin de rester alignés avec l'évolution de la demande réelle.
- Institutionnaliser la classification ABC-XYZ : la segmentation des références doit être intégrée comme outil de pilotage permanent, mise à jour semestriellement et utilisée comme base de toute décision d'approvisionnement.
- Standardiser le processus de collecte des données depuis SAP afin de garantir la fiabilité et la continuité des données alimentant les modèles de prévision et les KPI.

Perspective

L'une des perspectives les plus prometteuses pour TELA réside dans l'adoption d'une approche de gestion des stocks multi-échelle. Dans le contexte actuel, les décisions de stock sont prises de manière indépendante pour chaque niveau de la chaîne, usine de blending d'Oran, dépôt principal de Blida, canaux de distribution, sans prise en compte explicite des interdépendances entre ces niveaux. Cette approche cloisonnée conduit inévitablement à des inefficacités structurelles :

- accumulation de stocks tampons redondants à chaque échelon,
- propagation amplifiée des variabilités de la demande vers l'amont,
- absence de visibilité globale sur le stock consolidé du réseau.

La modélisation multi-échelle vise précisément à dépasser cette limite en optimisant simultanément les niveaux de stock à travers l'ensemble des nœuds de la chaîne logistique. Elle repose sur le principe que le stock de sécurité d'un échelon aval peut être partiellement couvert par la réactivité de l'échelon amont, à condition que les délais de réapprovisionnement inter-niveaux soient maîtrisés et modélisés correctement. Ce principe est formalisé dans des modèles tels que le modèle de *Clark & Scarf* (1960), qui constitue le fondement théorique de l'optimisation multi-échelle, ou plus récemment dans les approches de *Guaranteed Service Model (GSM)* développées par *Graves & Willems*, particulièrement adaptées aux réseaux de distribution complexes avec des contraintes de délai de service.

Dans le cas de TELA, l'application d'une telle approche permettrait de :

1. Réduire le stock total immobilisé sur l'ensemble du réseau tout en maintenant, voire en améliorant, le taux de service client, en évitant la duplication des stocks de sécurité entre Oran et Blida.
2. Optimiser les politiques de réapprovisionnement inter-sites en tenant compte explicitement des délais de transfert entre le site de production et le dépôt de distribution, ainsi que de la variabilité de ces délais.
3. Différencier les niveaux de stock cibles par échelon selon la criticité des références, leur classe ABC-XYZ et leur délai de réapprovisionnement, plutôt que d'appliquer une règle uniforme à l'ensemble du réseau.
4. Absorber l'effet Bullwhip, phénomène par lequel la variabilité de la demande s'amplifie à mesure que l'on remonte vers les échelons amont, en intégrant un mécanisme de lissage des commandes fondé sur les prévisions consolidées plutôt que sur les commandes observées.

Sur le plan méthodologique, la mise en œuvre de cette approche nécessiterait dans un premier temps la modélisation formelle du réseau logistique de TELA sous forme de graphe orienté, où chaque nœud représente un échelon et chaque arc un flux avec un délai et une variabilité associés. Des algorithmes d'optimisation stochastique ou de programmation dynamique pourraient ensuite être appliqués pour déterminer les paramètres de stock optimaux à chaque échelon, en minimisant le coût total de possession des stocks sous contrainte de taux de service. L'intégration des prévisions de demande issues des modèles développés dans ce projet constituerait une entrée naturelle et directe de ce modèle, renforçant ainsi la cohérence et la valeur ajoutée de l'ensemble de la démarche.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré au développement de la solution proposée pour répondre à la problématique identifiée au sein de TELA. À travers une classification ABC-XYZ, nous avons ciblé les références stratégiques sur lesquelles ont été appliqués plusieurs modèles de prévision de la demande, statistiques et basés sur le machine learning, évalués à l'aide des indicateurs MAD, MAPE et RMSE. Les prévisions retenues ont ensuite servi à dimensionner une politique de gestion des stocks adaptée aux contraintes opérationnelles de l'entreprise. Enfin, un tableau de bord décisionnel a été conçu afin de centraliser le pilotage de la performance supply chain et d'outiller les équipes dans leur prise de décision au quotidien. L'ensemble de ces résultats sera synthétisé dans la conclusion générale, accompagné des perspectives d'amélioration envisagées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le secteur des lubrifiants industriels est un secteur exigeant et fortement concurrentiel en raison de la diversité et des exigences de ses marchés. Les entreprises de ce secteur doivent faire face à des fluctuations de la demande qui nécessitent une surveillance permanente des besoins du marché ainsi qu'une grande capacité d'adaptation. Les producteurs et distributeurs de lubrifiants doivent donc être particulièrement réactifs afin de répondre efficacement aux attentes de leurs clients et de garantir la disponibilité des produits au moment opportun. Cette réactivité implique ainsi une meilleure anticipation de la demande, une gestion efficace des stocks tout en maîtrisant les coûts associés, ainsi qu'un meilleur pilotage de leurs niveaux.

Acteur majeur du marché national des lubrifiants, TotalEnergies Lubrifiants Algérie (TELA) est confrontée à ces enjeux dans la gestion quotidienne de ses activités. L'entreprise doit garantir la disponibilité de ses produits sur l'ensemble du territoire tout en maîtrisant les coûts liés au stockage et à l'approvisionnement. Face aux écarts observés entre la demande réelle du marché et les disponibilités produits, la nécessité d'améliorer les processus de prévision et de gestion des stocks est apparue comme un levier stratégique de performance.

L'objectif principal de ce projet était donc d'améliorer la maîtrise de la demande et le pilotage des disponibilités au sein de TELA à travers la mise en place d'une démarche intégrée combinant la prévision de la demande, la segmentation des produits, le dimensionnement des paramètres de stock et la conception d'un outil d'aide à la décision destiné aux équipes supply chain.

Le présent travail avait pour objectif d'améliorer la maîtrise de la demande et la gestion des disponibilités au sein de TotalEnergies Lubrifiants Algérie, face aux déséquilibres constatés entre l'offre et la demande sur les deux sites d'Oran et de Blida.

Dans un premier temps, un diagnostic approfondi de la situation existante a été réalisé afin de comprendre les principaux facteurs influençant la performance de la chaîne logistique de l'entreprise, tant sur le plan externe qu'interne. Cette analyse globale a permis d'examiner les conditions du marché, d'évaluer l'organisation des processus internes ainsi que d'étudier les pratiques de gestion des stocks et des approvisionnements à travers un audit des processus internes et l'exploitation des données commerciales de ventes sur la période 2023–2025.

Cette étude a mis en évidence des dysfonctionnements liés à l'existence d'un surstock structurel saturant les capacités de stockage, des ruptures récurrentes sur certaines références critiques ainsi qu'une absence de méthodes de prévision adaptées à la variabilité de la demande. Ces constats ont souligné la nécessité de mettre en place une approche plus rigoureuse et plus fiable afin de soutenir efficacement la prise de décision.

Afin d'améliorer la prévision de la demande, nous avons élaboré une démarche reposant sur une classification ABC-XYZ intégrant simultanément les critères de consommation, de valeur économique et de variabilité. Cette segmentation a permis d'identifier les produits à fort impact sur la performance de l'entreprise et de concentrer les efforts d'optimisation sur les références les plus critiques. Pour ces dernières, plusieurs modèles de prévision ont été développés et

comparés, incluant des méthodes statistiques auto-projectives ainsi que des techniques avancées de machine learning telles que, Random Forest, XGBoost et les réseaux de neurones Long Short-Term Memory (LSTM). Les performances des différents modèles ont été évaluées à l'aide des indicateurs MAD, MAPE et RMSE afin de sélectionner, pour chaque produit, la méthode offrant le meilleur niveau de précision.

Par la suite, les résultats obtenus ont été exploités pour définir une politique de gestion des stocks adaptée aux caractéristiques de chaque catégorie de produits. Cette étape a consisté à dimensionner les stocks de sécurité et les paramètres de réapprovisionnement en tenant compte des prévisions établies, de la variabilité de la demande ainsi que des contraintes opérationnelles propres à TELA. Cette approche a permis de proposer des niveaux de stock plus cohérents avec les besoins réels du marché tout en limitant les risques de rupture et les coûts liés au stockage excessif.

Enfin, afin de faciliter l'exploitation opérationnelle des résultats et d'assurer leur pérennité, un tableau de bord décisionnel a été développé sous Power BI. Cet outil permet de centraliser les indicateurs clés liés à la demande, aux prévisions et aux stocks, offrant ainsi à l'équipe supply chain une meilleure visibilité sur les performances logistiques et un support fiable pour la planification et la prise de décision. Grâce à cette plateforme, l'équipe dispose d'une vision plus réactive et plus précise de l'évolution de la demande et des stocks sur l'ensemble du périmètre opérationnel.

La mise en œuvre de cette solution permettra à TotalEnergies Lubrifiants Algérie d'améliorer significativement son taux de service tout en optimisant l'utilisation de ses ressources logistiques. En anticipant davantage les fluctuations de la demande et en adaptant les niveaux de stock aux besoins réels du marché, l'entreprise pourra réduire les risques de rupture sur les références stratégiques, limiter les immobilisations financières liées aux surstocks et renforcer l'efficacité globale de ses opérations. Par ailleurs, l'intégration d'outils analytiques avancés et d'un tableau de bord décisionnel contribuera à instaurer une culture de pilotage fondée sur les données, favorisant ainsi une prise de décision plus rapide et plus pertinente.

En définitive, ce travail a permis de proposer une démarche complète et opérationnelle associant analyse des données, intelligence artificielle, gestion des stocks et visualisation décisionnelle. Cette approche constitue un levier important pour améliorer la performance de la chaîne d'approvisionnement de TotalEnergies Lubrifiants Algérie et renforcer durablement sa compétitivité dans un marché des lubrifiants en constante évolution.

Bibliographie

- [1] Hau L. Lee. Aligning supply chain strategies with product uncertainties. *California Management Review*, 44(3) :105–119, 2002.
- [2] Research Nester. Lubricants market size & forecast, by oil base, by product, by region, & global trends 2025–2035. Technical report, 2025. Consulté le 9 avril 2026.
- [3] Mordor Intelligence. Lubricants market - size, share and industry analysis. <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/lubricants-market>, 2025. Consulté le 9 avril 2026.
- [4] Horizons. Le marché des lubrifiants en forte croissance. <https://www.horizons.dz/?p=221892>, 2025. Consulté le 9 avril 2026.
- [5] TotalEnergies SE. Document d’enregistrement universel 2025. Technical report, 2026. Déposé le 27 mars 2026, consulté le 9 avril 2026.
- [6] Fortune Business Insights. Lubricants market size, share & industry analysis, 2026–2034. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/lubricants-market-101771>, 2026. Consulté le 13 avril 2026.
- [7] Sunil Chopra and Peter Meindl. *Supply Chain Management : Strategy, Planning, and Operation*. Pearson, 6 edition, 2016.
- [8] CSCMP. Scm definitions and glossary of terms. https://cscmp.org/CSCMP/cscmp/educate/scm_definitions_and_glossary_of_terms.aspx, 2023. Consulté le 10 avril 2026.
- [9] Martin Christopher. *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson, 5 edition, 2016.
- [10] Marshall L. Fisher. What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review*, 75(2) :105–116, 1997.
- [11] Michael E. Porter. What is strategy? *Harvard Business Review*, 74(6) :61–78, 1996.
- [12] Global Market Insights. Lubricants market size and share, 2026–2035. <https://www.gminsights.com/fr/industry-analysis/lubricants-market>, 2025. Page 12, consulté le 14 avril 2026.
- [13] E2open. Oil and gas industry supply chain software and solutions. <https://www.e2open.com/fr/industries/oil-gas-and-chemicals-industry/>, 2022. Consulté le 14 avril 2026.
- [14] Klüber Lubrication. Lubrification et réglementation dans l’industrie agroalimentaire. <https://www.klueber.com/fr/fr/entreprise/newsroom/news/normes-lubrification-industrie-agroalimentaire/>, 2024. Consulté le 14 avril 2026.
- [15] The Insight Partners. Industrial lubricants market share & opportunities. <https://www.theinsightpartners.com/fr/reports/industrial-lubricants-market>, 2025. Consulté le 14 avril 2026.
- [16] E. A. Silver, D. F. Pyke, and D. J. Thomas. *Inventory and Production Management in Supply Chains*. CRC Press, 4 edition, 2016.
- [17] Yves Pimor and Michel Fender. *Logistique : Production, distribution, soutien*. Dunod, Paris, 5e edition, 2008.
- [18] Loïc Pineau and Julie Stal-Le Cardinal. *Génie industriel : Les fondamentaux*. Ellipses, 2025.

-
- [19] R. Bourbonnais and P. Vallin. *Comment optimiser les approvisionnements*. Economica, Paris, 1995.
 - [20] Emmanuel Laurent. *Optimiser la gestion de trésorerie par la modélisation économétrique des flux financiers : théorie et application à la trésorerie du régime général de la sécurité sociale en France*. Publibook, 2006.
 - [21] Claudio Ruff Escobar, Alain Redslob, and Krzysztof Malaga, editors. *Pour une recherche économique efficace*. Ediciones UBO, Santiago, Chili, 2020.
 - [22] T. B. Lawrence. Impacts of artificial intelligence on organizational decision making. *Journal of Behavioral Decision Making*, 4(3), 1991.
 - [23] Sourou Meatchi. *Le revenue management à l'ère de l'intelligence artificielle : vers une gestion éthique et responsable des prix dans le transport aérien et le tourisme*. Iste Editions, 2025.
 - [24] André Tchokogué. *Planification et contrôle de la production et des stocks : techniques et pratiques*. Les Éditions JFD, 2021.
 - [25] Edenilson Brandl. *Planification des Réponses aux Attentats Terroristes : Excellence Opérationnelle et Stratégies pour Maximiser L'efficacité et la Productivité*. Edenilson Brandl, 2023. E-book.
 - [26] Badr Benmammar, editor. *Gestion et contrôle intelligents des réseaux : Sécurité intelligente, optimisation multicritères, Cloud Computing, Internet of Vehicles, radio intelligente*. ISTE Editions Limited, 2020.
 - [27] ICOLD CIGB, editor. *Twenty-Seventh International Congress on Large Dams : Vingt-Septième Congrès International des Grands Barrages*. CRC Press, 2022. Proceedings of the 27th International Congress on Large Dams, Marseille, France, 27 May–3 June 2022.
 - [28] Yinglin Xia and Jun Sun. *Machine Learning for Microbiome Statistics*. CRC Press, 2026.
 - [29] Siham Lotfi and Hicham Mesk. *Prévision de défaillance des entreprises : Apport des réseaux de neurones artificiels*. 2021.
 - [30] Mohamed Nadjib Medfouni, Khaled Korichi, and Nadir Marouf. *Intelligence Artificielle Appliquée à l'Hydrologie : Apprentissage automatique et profond pour la modélisation du transport solide en Algérie du Nord*. TASQ Company, 2025.
 - [31] Pierre Zermati. *Pratique de la gestion des stocks*. Dunod, Paris, 2001.
 - [32] Michel Fender and Agnès Gorge. *Gestion et pilotage des stocks : Outils analytiques et méthodologies d'optimisation*. Dunod, 2022.
 - [33] C. Camisullis and Vincent Giard. *Détermination des stocks de sécurité dans une chaîne logistique-amont dédiée à une production de masse de produits fortement diversifiés*. 2010.
 - [34] Gérard Baglin, Olivier Bruel, Alain Garreau, Michel Greif, Lahcen Kerbache, and Chrystel Van Delft. *Management industriel et logistique : conception et pilotage de la Supply Chain*. Economica, Paris, 2005.
 - [35] Erplain. *Méthodes de gestion de stocks : comment les optimiser ?* <https://www.erplain.com/fr/blog/gestion-de-stock-enjeux-et-methodes>, 2022. Consulté le 10 mai 2026.
 - [36] Marc Gaiga. *Gestion des stocks*, 2003. Ressource pédagogique, 12 leçons.
 - [37] André Marchal, Jean-Paul Gaertner, and Laure Bavant. *Supply Chain Management. Logistique globale*. Ellipses, 2 edition, 2018.
 - [38] É. Salin. *Gestion des stocks : les points clés*. Éd. d'Organisation, 1990.
 - [39] Fouad Jawab and Driss Bouami. *Contribution to the development of a logistics audit approach : Application to a moroccan company*. MPRA Paper 85662, Munich Personal RePEc Archive, 2018.
 - [40] Kaoutar Benkhedda and Saliha El Hakmi. *De la logistique au supply chain management : une revue de littérature systématique par la méthode PRISMA statement*. *Revue Française d'Économie et de Gestion*, 2023.
-

- [41] M. Beida and T. A. Ferhat. Les outils de gestion de prévision. 2004.
- [42] Marc Parizeau. *Réseaux de neurones*. Presses de l'Université Laval, 2004.
- [43] Michel Fender and Agnès Gorge. *Gestion et pilotage des stocks : Outils analytiques et méthodologies d'optimisation*. Dunod, Paris, 2022.
- [44] S. Meijer et al. Simulation as a research methodology. In *Modelling, Simulation and Applications of Complex Systems*. Springer, 2018.

ANNEXES

Cette section regroupe les annexes du mémoire : résultats complémentaires, modèles, données et supports d'analyse.

Annexe 1

Analyse PESTEL

Facteurs Politiques :

TotalEnergies Lubrifiants Algérie évolue dans un secteur stratégique soumis à un cadre institutionnel strict. Les politiques étatiques d'industrialisation et de réduction des importations imposent des contraintes et des opportunités majeures pour l'entreprise. Parmi les éléments politiques à surveiller, on distingue :

- Stabilité du gouvernement et continuité des politiques économiques.
- Réglementations sur l'importation et la distribution des produits pétroliers.
- Politique de préférence nationale et obligations de contenu local.
- Risques législatifs affectant les investissements et entreprises étrangères.
- Relations diplomatiques et commerciales de l'Algérie.
- Efficacité de l'administration publique et cadre juridique des contrats.

Facteurs Économiques

Le contexte macroéconomique algérien, lié à la volatilité des hydrocarbures, influence directement la rentabilité de l'entreprise. La dépréciation du dinar pèse structurellement sur le coût des intrants importés et les marges. Les variables clés incluent :

- Volatilité du cours du pétrole et impact budgétaire étatique.
- Taux de change et coût des approvisionnements importés.
- Inflation et pression sur les prix de vente des lubrifiants.
- Pouvoir d'achat et sensibilité aux prix des consommateurs.
- Croissance du parc automobile et de la demande de maintenance.
- Infrastructures logistiques et développement industriel du pays.
- Accès au financement et conditions d'investissement local.

Facteurs Socioculturels

L'essor démographique et l'urbanisation en Algérie soutiennent la demande de maintenance automobile. Bien que les habitudes d'achat privilégient la fidélité aux marques connues, le marché reste caractérisé par une forte sensibilité aux prix et l'influence des réseaux de réparation. Les variables clés incluent :

- Croissance démographique et hausse du parc automobile en circulation.
- Urbanisation et développement des transports individuels et professionnels.
- Sensibilisation à la performance et à la qualité technique des lubrifiants.
- Habitudes locales de maintenance et fréquence réelle des vidanges.
- Rôle prescripteur des mécaniciens et garagistes dans le choix final.
- Niveau de qualification de la main-d'œuvre locale disponible.
- Perception de la marque TotalEnergies et comportement d'achat associé.

Facteurs Socioculturels

L'urbanisation et la croissance du parc automobile soutiennent la demande, malgré une forte sensibilité aux prix et un attachement aux marques installées. Les variables clés incluent :

- Hausse démographique et besoin accru de transport individuel.
- Sensibilisation des usagers à la qualité technique des lubrifiants.
- Fréquence locale des vidanges et habitudes réelles de maintenance.
- Rôle prescripteur des garagistes et des mécaniciens de quartier.
- Disponibilité d'une main-d'œuvre locale qualifiée.
- Notoriété et image de la marque TotalEnergies sur le marché.

Facteurs Environnementaux

Portée par les engagements internationaux et la transition énergétique, la gestion environnementale s'impose à l'ensemble de la chaîne de valeur (production, transport, déchets). Le respect des normes représente un coût opérationnel, mais offre un avantage concurrentiel face au secteur informel. Les variables clés incluent :

- Réglementations sur le recyclage et la gestion des huiles usagées.
- Normes strictes de stockage, de manipulation et de transport.
- Traitement des déchets industriels de l'activité de blending.
- Objectifs du groupe pour réduire l'empreinte carbone globale.
- Demande de lubrifiants éco-efficaces et biodégradables.
- Exigences des clients professionnels pour des pratiques écoresponsables.
- Évolution des moteurs vers des technologies moins polluantes.

Cartographies des processus

Définition de l'approche processus

La norme ISO 9000 :2015 définit un processus comme « un ensemble d'activités corrélées ou en interaction qui utilisent des éléments d'entrée pour produire un résultat escompté » (ISO, 2015, p. 21).

L'approche processus est une méthodologie de management qui consiste à modéliser l'ensemble des activités d'une organisation en identifiant leurs enchaînements logiques et leurs interactions, plutôt qu'en les regroupant selon la structure hiérarchique traditionnelle. Comme le soulignent Cattani, Idrissi et Knockaert (2006), elle vise à substituer à la vision verticale de l'organigramme une vision transversale orientée vers la création de valeur pour le client final.

Cette approche décompose les activités étape par étape afin d'étudier leur fonctionnement réel et leurs interfaces, pour obtenir une représentation partagée du fonctionnement de l'organisation et rendre visibles les flux physiques et informationnels qui traversent les frontières fonctionnelles. Elle permet ainsi d'améliorer la performance globale de l'organisation, en maîtrisant systématiquement ses processus et leurs interactions (ISO 9000 :2015).

Cette démarche fait intervenir trois types de processus :

- **Les processus de management (ou pilotage) :** Processus qui contribuent à la détermination de la stratégie, de la politique qualité et au déploiement des objectifs de l'entreprise. Ils permettent leur pilotage et la mise en œuvre des actions d'amélioration.
- **Les processus de réalisation (ou opérationnels) :** Processus contribuant directement à la réalisation du produit ou du service, depuis la détection du besoin du client jusqu'à sa satisfaction. Ils correspondent au cœur de métier de l'organisme.
- **Les processus de support (ou soutien) :** Processus qui contribuent au bon déroulement des autres processus en leur fournissant les ressources nécessaires.

Démarche de l'approche processus

Etape 1 : Cartographier les processus : La cartographie est une schématisation qui permet une meilleure visualisation des interactions entre les différents processus. Elle est établie sur trois à quatre niveaux selon le détail souhaité.

- Niveau 1 : macro-processus contenant toutes les fonctions principales. Ce type de cartographies permet d'identifier les entrées, les sorties, et les missions de l'entreprise.
- Niveau 2 : les fonctions de l'entreprise sont détaillées en faisant ressortir les processus élémentaires prenant en charge les entrées.
- Niveau 3 : chaque processus élémentaire est détaillé.

Etape 2 : Choix des processus clés : Les processus clés sont ceux qui apportent une valeur ajoutée pour la réalisation des objectifs de l'entreprise.

Etape 3 : Déployer les objectifs par rapport aux processus : Associer à chaque processus les attentes des clients ainsi que les objectifs stratégiques correspondants.

Etape 4 : Amélioration et management des processus : L'entité étudie la possibilité d'améliorer ses performances selon le potentiel de réactivité des processus aux objectifs stratégiques et aux attentes client.

Etape 5 : Elaboration du plan d'action : Au cours de cette étape, les résultats observés sont communiqués, des corrections et améliorations initiées, et la performance mesurée.

Une analyse comparative des référentiels d'audit logistique.

<i>Caractéristiques</i>	<i>SCOR.</i>	<i>ASLOG.</i>	<i>Global EVALOG.</i>	<i>SCM.</i>
<i>Type d'approche</i>	Approche par processus.	Approche par thèmes.	Approche par thèmes.	Approche par modules.
<i>Processus stratégiques ou de pilotage.</i>	Planification.	-Management, -stratégie et planification. -Pilotage.	-Vision et stratégie. -Objectifs. -Mesure, analyse et plans d'action.	-Stratégie d'entreprise. -Stratégie logistique.
<i>Processus tactiques et opérationnels.</i>	-Approvisionnement. -Fabrication. -Livraison.	-Approvisionnement. -Production. -Déplacement. -Stockage. -Vente.	-Mesure, analyse et plans d'action.	-Processus logistiques. -Gestion de la demande. -Gestion des stocks. -Gestion de la production. -Gestion des approvisionnements. -Gestion de la distribution.
<i>Processus transversaux ou de support.</i>	-Gestion des retours. -Enable.	-Conception et projets. -Progrès permanent. -Retours et après-vente.	-Amélioration continue. -Développement de la Supply Chain.	-Gestion des retours. -Gestion du soutien après-vente. -Gestion des flux Import Export. -Gestion de la traçabilité. -Systèmes d'information. -Standards de communication. -Formation du personnel. -Mesure de la Performance -Organisation logistique. -Logistique et la société. -Logistique et la rentabilité. -Logistique et l'environnement. Maîtrise des risques. Service client. Innovation. Efficience. Réactivité.
<i>NT de processus</i>	6	10	5	25
<i>Domaines d'application</i>	Tout type d'activité.	Tout type d'activité.	Secteur Automobile.	PMEs-PMIs
<i>Outils utilisés.</i>	Descriptif de processus. -Indicateurs de performance. -Manuel de bonnes pratiques. -Données de Benchmarking.	-Questionnaires. -Pondérations. -Actions de progrès. -Indicateurs de la performance et de pilotage.	-Questionnaires. -Grille d'évaluation -Plan d'action. -Bonnes pratiques. -Indicateurs de performance.	- Grille d'évaluation.
<i>Structure générale du modèle.</i>	Niveaux hiérarchiques.	Référentiel d'audit.	Référentiel d'audit.	Roue de 25 modules.

FIGURE 0.17 – Une analyse comparative des référentiels d'audit logistique

Contexte de l'audit

L'ASLOG (Association française pour la LOGistique) est une organisation créée en 1972, un leader dans la logistique et la supply chain, dotée de chercheurs et de praticiens. Leur objectif est commun : améliorer les pratiques logistiques dans les organisations. Dans ce cadre, l'ASLOG a développé le référentiel d'excellence logistique à partir de 1997, conçu pour les entreprises qui veulent faire évoluer leurs organisations logistiques. Il compte à ce jour 6 versions, avec 10 chapitres et plus de 120 questions qui couvrent à la fois des processus opérationnels constitutifs de la chaîne d'approvisionnement et des processus tactiques afin d'améliorer la planification, la prévision et l'ensemble des fonctions de pilotage de la supply chain, alignées avec la stratégie de l'entreprise. Le référentiel ASLOG s'articule autour de plusieurs axes de processus :

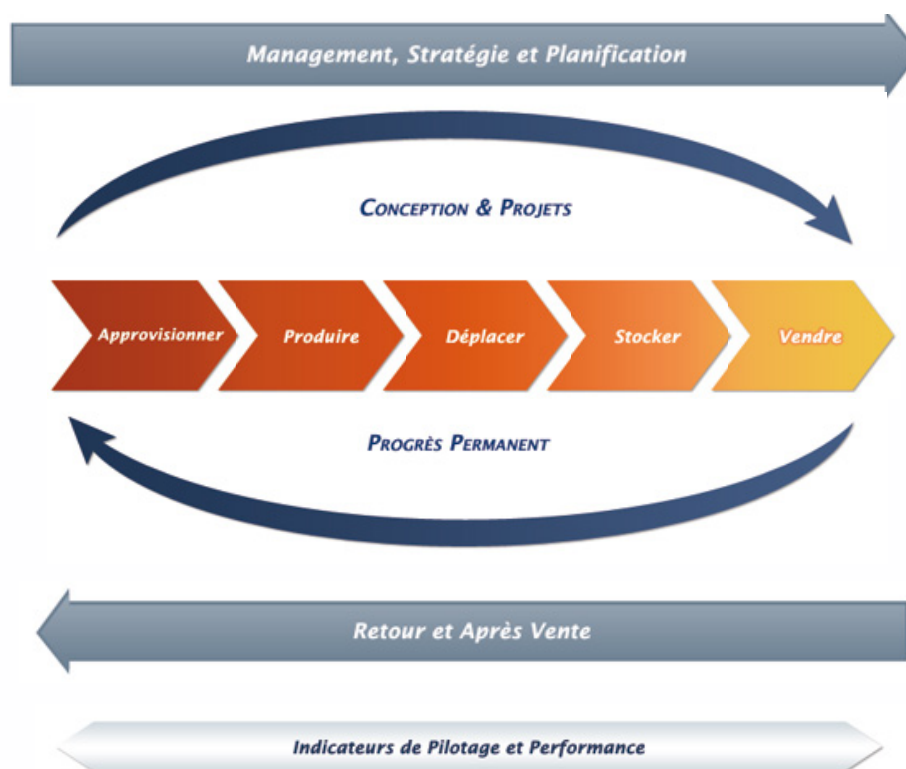


FIGURE 0.18 – les principaux thèmes couverts par ASLOG

Principe de notation

Par le risque	Par la performance
0 : non mesuré ni pris en compte 1 : mesuré 2 : contenu 3 : maîtrisé	0 : insuffisante 1 : suffisante, même si pas chiffrée 2 : régulière, progrès, mais à l'occasion 3 : progrès volontaire et continu
Par la méthode	
0 : aucune approche 1 : une méthode est appliquée, même rudimentaire 2 : on maîtrise, méthode d'optimisation 3 : méthode de progrès continu, impact la stratégie	

FIGURE 0.19 – Principe de notation de l'ASLOG

Synthèse des résultats du Chapitre 1 : Management logistique

Réf.	Sous-section	Note	Niveau
1.1	Prise en compte de la logistique dans le management par la Direction Générale		
1.1.1	Comment la démarche logistique est-elle intégrée au sein de l'entreprise ?	3/3	Excellent
1.1.2	Comment la logistique est-elle prise en compte dans l'élaboration de la stratégie d'entreprise ?	2/3	Bon
1.1.3	Comment les besoins des clients déterminent-ils la politique logistique de l'entreprise ?	3/3	Excellent
1.1.4	Comment la programmation des investissements logistiques est-elle réalisée ?	2/3	Bon
1.1.5	Comment les dépenses logistiques sont-elles contrôlées ?	2/3	Bon
Total section 1.1		12/15	
1.2	L'organisation de la fonction logistique dans l'entreprise		
1.2.1	Quelles sont l'organisation logistique et la répartition des responsabilités ?	0/3	Insuffisant
1.2.2	Comment une fonction « méthodes logistiques » contribue-t-elle au progrès ?	0/3	Insuffisant
1.2.3	Comment le travail en équipe est-il recherché ?	3/3	Excellent
1.2.4	Comment l'entreprise utilise-t-elle la communication électronique pour organiser le travail ?	3/3	Excellent
Total section 1.2		6/12	
1.3	Le personnel logistique et sa formation		
1.3.1	Quelles sont la culture et l'éthique de l'entreprise ?	3/3	Excellent
1.3.2	Comment est géré le personnel en général et le personnel logistique en particulier ?	1/3	Fondamental
1.3.3	Comment l'entreprise se comporte-t-elle en matière de gestion des connaissances et de formation ?	2/3	Bon
1.3.4	Comment les utilisateurs du système d'information sont-ils formés ?	3/3	Excellent
Total section 1.3		9/12	
		27/39	69 % Bonne

TABLE 0.15 – Synthèse des résultats du Chapitre 1 : Management logistique

Synthèse des résultats du Chapitre 6 : Stockage

Réf.	Question	Note	Niveau
6.1	Implantation des plateformes, entrepôts et magasins		
6.1.1	Quelle implantation a été étudiée pour assurer les opérations de magasinage ?	1/3	Fondamental
6.1.2	Comment les taux de remplissage sont-ils suivis ?	2/3	Bon
Total section 6.1		3/6	
6.2	Gestion des stocks		
6.2.1	Comment la gestion des stocks est-elle assurée ?	2/3	Bon
6.2.2	Comment les niveaux de stock sont-ils travaillés ?	1/3	Fondamental
6.2.3	Comment les réservations de stock sont-elles gérées ?	1/3	Fondamental
6.2.4	Comment une gestion des stocks est-elle assurée à l'extérieur du site ?	2/3	Bon
6.2.5	Comment une gestion des stocks est-elle assurée dans le site ?	1/3	Fondamental
6.2.6	Comment une gestion des stocks est-elle assurée chez des prestataires ?	1/3	Fondamental
6.2.7	Comment une gestion des stocks est-elle assurée chez les clients ?	3/3	Excellent
Total section 6.2		11/21	
6.3	Activités et aléas		
6.3.1	À quel moment les mouvements de stock sont-ils enregistrés ?	2/3	Bon
6.3.2	Quelles règles régissent les stocks des fournisseurs ?	2/3	Bon
6.3.3	Comment les moyens de manutention sont-ils maintenus ?	3/3	Excellent
6.3.4	Comment l'obsolescence est-elle gérée ?	0/3	Insuffisant
Total section 6.3		7/12	
6.4	Personnel		
6.4.1	Comment les mouvements de stocks sont-ils gérés ?	3/3	Excellent
Total section 6.4		3/3	
6.5	Moyens		
6.5.1	Comment les moyens de manutention sont-ils gérés ?	2/3	Bon
6.5.2	Comment les emballages sont-ils gérés ?	1/3	Fondamental
Total section 6.5		3/6	
		27/48	56 % Passable

TABLE 0.16 – Synthèse des résultats du Chapitre 6 : Stockage

Réponses aux questions du chapitre N°1 de l'audit logistique (Management, stratégie et planification)

		Chapitre 1. Management, stratégie et planification	
		1.1 Prise en compte de la logistique dans le management par la direction générale	
		1.1.1 Comment la démarche logistique est-elle intégrée au sein de l'entreprise ?	1.1.2 Comment la logistique est-elle prise en compte dans l'élaboration de la stratégie d'entreprise ?
1	fondamentaux	Les processus logistique sont identifiés, transversaux et reconnus par tous les niveaux de l'organisation	Les postes des coûts logistiques sont identifiés et intégrés dans les objectifs budgétaires. Les éléments du service à apporter aux clients sont élaborés par rapport à la situation du marché.
2	Bonnes pratiques	La remise en cause permanente de l'organisation logistique et de sa performance est une pratique courante comprise de tous.	Les éléments constituant la démarche logistique sont contrôlés et participent à l'élaboration de la stratégie. Pour les grandes décisions que doit prendre l'entreprise, une étude de leurs conséquences logistiques (service, stocks, transport, flexibilité, ...) est systématiquement menée avec soin.
3	Excellence	La Direction Générale s'engage dans la mise en oeuvre des pratiques logistiques nécessaires à l'entreprise en définissant la politique adaptée à son marché, en fixant les objectifs, en mettant à disposition les ressources nécessaires et en menant les revues de direction sur ces sujets.	Un Directeur Logistique assume un rôle d'interface entre les différents services de l'entreprise et les membres du comité stratégique ou de décision.
EVALUATION		3	2
Commentaire		les processus logistiques sont formellement identifiés et reconnus, et une remise en cause permanente est engagée avec des plans d'amélioration documentés.	l'absence d'un Directeur Logistique formellement membre du comité stratégique. La logistique est bien un pilier, mais elle n'est pas encore portée au niveau du comité de direction en tant que fonction représentée.
Points forts		existence de projets stratégiques concrets (investissements en chariots, projets de localisation d'entrepôts avec prestataires 3PL, solutions digitales TMS, sécurisation du nombre de prestataires transport) ; bonne reconnaissance transversale des processus.	revues régulières, KPI suivis, lien fort entre besoins clients et orientations logistiques.

FIGURE 0.20 – Réponses à la question 1.1.1 et 1.1.2 de l'audit logistique

		Chapitre 1. Management, stratégie et planification	
		1.1 Prise en compte de la logistique dans le management par la direction générale	
		1.1.3 Comment les besoins des clients déterminent-ils la politique logistique de l'entreprise ?	1.1.4 Comment la programmation des investissements logistiques est-elle réalisée ?
1	fondamentaux	Les besoins des clients sont pris en compte pour définir les orientations logistiques de l'entreprise. Les choix en matière d'organisation logistique sont le reflet d'une préoccupation constante de générer du profit.	Les investissements logistiques sont clairement identifiés en tant que tels. Les arbitrages entre « investir » et « sous-traiter » sont rendus à partir de données disponibles et factuelles (charge et capacité, coût, niveau de service, délai, ...).
2	Bonnes pratiques	Les dysfonctionnements logistiques sont traités au coup par coup, sans délai, par des équipes trans-fonctionnelles. Tout écart est mesuré et si nécessaire des actions correctives sont réalisées. Des actions préventives planifiées et des enquêtes de satisfaction sont réalisées et permettent de détecter les problèmes potentiels. Leur résultats donnent lieu à des plans d'actions prioritaires.	Les investissements logistiques font l'objet d'une planification à court, moyen et long termes (délai, montant, retour sur investissement) comme tous les autres projets d'investissement de l'entreprise.
3	Excellence	La politique logistique de l'entreprise est revue au moins annuellement par la direction générale. Cette revue prend en compte l'évolution des besoins des clients et les résultats des enquêtes de satisfaction. Elle s'assure des progrès réalisés suite aux actions menées et définit les orientations nouvelles à mettre en oeuvre.	Les projets d'investissement logistiques sont étudiés en prenant en compte les immobilisations (au sens comptable) mais aussi l'ensemble des autres frais et charges liés aux projets et qui ne pourront pas être immobilisés. Le calcul de retour sur investissement tient réellement compte de tous les paramètres tels que le temps, les économies ou suppléments d'impôts, la rémunération du capital immobilisé, le financement,...
EVALUATION		3	2
Commentaire		Les besoins clients orientent les décisions logistiques, les dysfonctionnements sont traités avec des équipes trans-fonctionnelles, et des enquêtes de satisfaction sont conduites avec suivi des plans d'actions. La revue annuelle formelle de la politique logistique par la direction générale, intégrant explicitement les résultats des enquêtes de satisfaction et définissant les nouvelles orientations.	Les investissements logistiques sont clairement identifiés et les arbitrages investir/sous-traiter sont documentés. Le calcul du ROI existe, mais il n'intègre pas pleinement l'ensemble des frais non immobilisables liés aux projets.
Points forts		Plan long terme 5 ans existant ; mesure KPI satisfaction ; réactivité sur les dysfonctionnements.	Processus d'arbitrage outillé.

FIGURE 0.21 – Réponses à la question 1.1.3 et 1.1.4 de l'audit logistique

 TotalEnergies		Chapitre 1. Management, stratégie et planification	
		1.1 Prise en compte de la logistique dans le management par la direction générale	
		1.1.5 Comment les dépenses logistiques sont-elles contrôlées ?	
1	Fondamentaux	Un système de contrôle budgétaire mensuel est en place pour l'ensemble des charges logistiques d'exploitation. Il est régulièrement diffusé aux personnes concernées.	
2	Bonnes pratiques	Des actions permettent de contenir les dépenses au niveau prévu.	
3	Excellence	Grâce à des interventions d'amélioration permanente, des gains sont réalisés pour que chaque année, à taux de service et périmètre constants et dans des limites acceptables, les coûts logistiques soient en baisse.	
EVALUATION		2	
Commentaire		Un système de contrôle budgétaire mensuel est en place avec diffusion aux personnes concernées. Des actions concrètes permettent de contenir les dépenses au niveau prévu. Des gains récurrents permettant une baisse réelle des coûts logistiques d'une année sur l'autre mais ne sont pas mesurées.	
Points forts		culture costing active	

FIGURE 0.22 – Réponses à la question 1.1.5 de l'audit logistique

 TotalEnergies		Chapitre 1. Management, stratégie et planification	
		1.2 L'organisation de la fonction logistique dans l'entreprise	
		1.2.1 Quelles sont l'organisation logistique de l'entreprise et la répartition des responsabilités logistiques ?	1.2.2 Comment une fonction « méthodes logistiques » apporte-t-elle de façon continue sa contribution au progrès ?
1	Fondamentaux	Les responsabilités logistiques sont clairement définies. Chaque fonction concernée dispose des moyens d'atteindre ses objectifs logistiques.	La fonction « méthodes logistiques » existe. Les principaux éléments du flux physique sont décrits dans des gammes simplifiées. Dans le but de travailler sur la productivité, des actions peuvent être menées à partir de ces données.
2	Bonnes pratiques	Pour assurer la maîtrise globale de la satisfaction des besoins des clients, un « Directeur logistique » est responsable de l'organisation des fonctions de la supply chain. Il dispose de pouvoirs transversaux étendus afin de garantir la cohésion de ses actions.	De plus, l'entreprise, par le biais d'un service Méthodes logistiques, dispose de gammes logistiques détaillées couvrant l'ensemble des activités du flux physique. Les gains de productivité obtenus servent à réduire les temps alloués.
3	Excellence	Le Directeur Logistique est membre de l'équipe de direction ou du comité stratégique.	En outre, la recherche permanente d'une meilleure performance logistique contribue à améliorer le fonctionnement global et la rentabilité de toutes les opérations ainsi qu'à réduire les délais sans altérer le niveau de service.
EVALUATION		0	0
Commentaire		Les fonctions concernées ne disposent pas des moyens (outils, ressources ou budgets) nécessaires pour atteindre leurs objectifs logistiques.	Des actions sont menées sur la productivité et la réduction des erreurs via l'Excellence Opérationnelle, mais sans gammes logistiques structurées ni service Méthodes Logistiques formalisé.
Points forts			

FIGURE 0.23 – Réponses à la question 1.2.1 et 1.2.2 de l'audit logistique



ASLOG
Les acteurs de la Supply Chain



TotalEnergies

Chapitre 1. Management, stratégie et planification

1.2 L'organisation de la fonction logistique dans l'entreprise

1.2.3 Comment le travail en équipe est-il recherché ?

1.2.4 Comment l'entreprise utilise-t-elle la communication électronique pour organiser le travail et partager l'information ?

1 fondamentaux

Le travail en équipes autonomes est favorisé dans l'entreprise. Ce type d'organisation est adopté par la fonction logistique.

L'entreprise utilise le courrier électronique interne et/ou dispose d'un intranet : communication et sensibilisation sont des pratiques courantes. Elle dispose également d'un site Internet, à jour. Toutes les dispositions de sécurisation sont en place et fréquemment mises à jour.

2 Bonnes pratiques

Le travail en équipes autonomes améliore non seulement la performance collective de la fonction logistique, mais aussi la performance individuelle des membres du groupe. En outre, les équipes autonomes sont mises en avant par le biais des résultats obtenus.

En interne, la gestion des rendez-vous, des réunions,..., est commune à toute l'entreprise, chacun peut planifier son activité de façon plus efficace selon l'occupation de tous. La transmission électronique des commandes fournisseurs et clients est privilégiée.

3 Excellence

De plus, en allant au-delà de leur mission de base, les équipes autonomes contribuent à l'évolution de leur propre mission et font ainsi progresser le travail sur les différents flux logistiques.

L'entreprise a mis en place un outils adaptés à l'interconnexion de ses différents sites et dispose d'un Extranet sécurisé. Chaque fois que possible, selon des règles connues et documentées, la mutualisation de la circulation des informations logistiques est recherchée. Le système d'information et le site internet sont interfacés. Les ordres des clients et leurs répercussions vers les fournisseurs sont immédiatement transmis par ce moyen. La gestion partagée des approvisionnements est en place avec les principaux clients et fournisseurs.

EVALUATION

3

3

Commentaire

Le travail en équipes autonomes est adopté dans la fonction logistique? la performance collective est améliorée et les équipes sont valorisées par des actions comme employé du mois et les équipes peuvent proposer des améliorations et ils ont la capacité réelle d'influer sur l'évolution de leur mission (contribution à l'évolution des flux logistiques au-delà de leur périmètre de base).

Utilisation du courrier électronique interne, intranet opérationnel et serveurs locaux sécurisés. La gestion partagée des réunions et transmission électronique des commandes. Il existe un extranet sécurisé interconnectant les différents sites.

Points forts

culture de valorisation des équipes ; bottom-up d'amélioration existant.

infrastructure digitale de base solide

FIGURE 0.24 – Réponses à la question 1.2.3 et 1.2.4 de l'audit logistique



ASLOG
Les acteurs de la Supply Chain



TotalEnergies

Chapitre 1. Management, stratégie et planification

1.3 Le personnel logistique et sa formation

1.3.1 Quelles sont la culture et l'éthique de l'entreprise ?

1.3.2. Comment est géré le personnel en général et le personnel logistique en particulier

1 fondamentaux

Les rapports humains sont basés sur le respect mutuel et les échanges d'expériences multi-culturelles.

Le personnel est accueilli et formé, y compris le personnel temporaire. Le programme d'intégration comprend une sensibilisation aux objectifs de l'entreprise et à sa logistique. L'utilisation d'unité d'oeuvre reconnues permet de déterminer l'effectif nécessaire. Ce personnel est formé et habilité à la manutention des marchandises ainsi qu'aux tâches administratives associées. Il est disponible. Les notions de service, les règles de qualité, d'hygiène, d'environnement et de sécurité sont connues et appliquées avec rigueur.

2 Bonnes pratiques

La notion d'éthique d'entreprise est comprise de chacun; il existe une liste noir des pays, clients et fournisseurs connus pour leurs pratiques douteuses : travail des enfants, esclavage, blanchiment d'argent, corruption, pollution,...

Les besoins en personnel des différentes catégories sont étudiés avec soin. La polyvalence du personnel est évaluée et développée. Celui-ci participe au progrès. Des mesures sont prévues pour faire face aux variations d'activité. Il est possible de modifier de façon rapide les temps d'ouverture.

3 Excellence

Les modèles de management développés ou utilisés par l'entreprise sont issus de pratique privilégiant l'excellence à travers l'implication des salariés. Une charte sociale existe et est appliquée. L'entreprise s'inspire des pratiques remarquables en la matière.

Une analyse de la charge prévisionnelle permet de connaître à l'avance et de façon fiable les besoins en personnel et en moyens logistiques. Des actions préventives sont mises en place de façon à lisser la charge et à réduire l'amplitude des écarts d'activité. Des actions sont mises en oeuvre pour améliorer la flexibilité. Les principaux éléments liés à la flexibilité des entreprises analogues et/ou des concurrents sont connus.

EVALUATION

3

1

Commentaire

les valeurs d'entreprise sont intégrées, la culture managériale s'appuie sur l'implication des salariés et le respect mutuel est une pratique établie.

la polyvalence du personnel n'est pas évaluée ni développée de manière structurée, et la flexibilité en cas de variations d'activité n'est pas formalisée.

Points forts

culture d'entreprise forte, cohésion des équipes

FIGURE 0.25 – Réponses à la question 1.3.1 et 1.3.2 de l'audit logistique

 Chapitre 1. Management, stratégie et planification	
1.3 Le personnel logistique et sa formation	
	1.3.3. Comment l'entreprise se comporte-t-elle en matière de gestion des connaissances et de formation ?
1	fondamentaux Les savoirs faire de l'ensemble du personnel sont intégrés dans une base de données. Un programme annuel de formation existe. Les besoins en formation émis par le personnel logistique sont pris en compte.
2	Bonnes pratiques L'entreprise a une vision de ses besoins de compétences à moyen terme. Les compétences potentielles des personnels sont identifiées. Des formations logistiques sont proposées pour développer des savoir-faire. Les besoins en formation logistiques sont identifiés lors de l'entretien individuel d'évaluation du collaborateur. Les réalisations par rapport aux objectifs sont revues. Des critères de compétences sont définis et évalués, y compris pour l'avenir.
3	Excellence L'entreprise a une vision de ses besoins de compétences à long terme et propose des « chemin de carrière ». Le plan de formation de l'entreprise comprend un volet d'information et de sensibilisation de l'ensemble du personnel à la logistique ainsi qu'à son évolution. Dans ce plan, un volet formation logistique vise à satisfaire les besoins exprimés par l'encadrement et la Direction, dans le cadre des orientations stratégiques et tactiques de l'entreprise.
EVALUATION	
2	
Commentaire	L'entreprise n'a pas de vision claire de ses besoins en compétences à long terme et ne propose pas de chemins de carrière.
Points forts	Définition et évaluation de critères de compétences, incluant les besoins futurs.
	1.3.4. Comment les utilisateurs du système d'information sont-ils formés et de quels moyens disposent-ils ?
	Tous les utilisateurs du système ont reçu une véritable formation initiale, des modules étant prévus pour les nouveaux arrivants. Ils disposent d'un manuel d'utilisation clair, pratique et à jour. Ces dispositions s'appliquent intégralement dans le cas d'une montée de version.
	Les responsabilités, les méthodes à appliquer et la fréquence des mises à jour sont définies : * pour l'introduction des données des nouveaux produits (nomenclatures, paramètres de gestion: délai, seuil de stocks, stocks de sécurité, lots,...); * pour la mise à jour des données des produits existants.
	La conception du système d'information global de l'entreprise permet l'extraction et l'exploitation des données dans un environnement aisément accessible et documenté.
3	
Commentaire	des formations initiales existent pour les utilisateurs, avec des manuels d'utilisation clairs et à jour, ainsi la gestion des montées de version, une mise à jour régulière des supports et une gestion proactive des évolutions du SI.
Points forts	Méthodes de mise à jour structurées et standardisées.

FIGURE 0.26 – Réponses à la question 1.3.3 et 1.3.4 de l'audit logistique

Réponses aux questions du chapitre N°6 de stockage

 Chapitre 6. le stockage	
6.1. Implantation des plateformes, entrepôts et magasins	
	6.1.1. Quelle implantation a été étudiée pour assurer les opérations de magasinage ?
1	fondamentaux L'implantation est conçue de façon rationnelle pour éviter les déplacements longs et les manutentions compliquées. La circulation des flux est conçue pour éviter les ralentissements et les risques d'accident. Les emplacements sont destinés à un type de pièce selon des critères précis (classe ABC sur la fréquence des mouvements, poids ou volume,...). Le FIFO ou le FEFO sont assurés.
2	Bonnes pratiques Les emplacements sont gérés. Le système d'information propose une adresse disponible dans les zones appropriées. Lors de l'introduction de nouvelles références, une méthode documentée permet de définir rapidement les caractéristiques et donc la zone idéale de stockage.
3	Excellence Une revue régulière du magasin et des implantations est effectuée (re-localisation, évacuation des stocks morts,...). Toute anomalie est étudiée avec les manutentionnaires et entraîne au besoin la modification de la procédure d'implantation. L'informatique embarquée permet aux manutentionnaires une gestion en temps réel.
EVALUATION	
1	
Commentaire	Il n'existe pas de revue régulière documentée de réimplantation, et l'informatique embarquée n'est pas déployée.
Points forts	Placement ABC opérationnel. Application FEFO au picking.
	6.1.2. Comment les taux de remplissage sont-ils suivis ?
	La surface et l'organisation des espaces de stockage sont satisfaisantes et évitent la saturation. En cas de surcharge momentanée, des moyens de stockage exceptionnels sont prévus.
	Le taux de remplissage du magasin est suivi en continu. Une analyse régulière des besoins permet la gestion préventive des ressources en surface, moyens de manutention et de stockage.
	Une alerte est émise dès que le taux de remplissage atteint un seuil critique. Des mesures sont alors prises pour préserver les ratios ou pour que les équipements restent capotaires.
2	
Commentaire	Le suivi existe mais aucun seuil d'alerte formel ne déclenche d'action corrective automatique.
Points forts	Suivi du taux d'occupation régulier

FIGURE 0.27 – Réponses à la question 6.1.1 et 6.1.2 de l'audit logistique




Chapitre 6. le stockage

6.2. Gestion des stocks

		6.2.1. Comment la gestion des stocks est-elle assurée ?	6.2.2. Comment les niveaux de stock sont-ils travaillés ?
1	fondamentaux	Des règles existent. Elles définissent l'arbitrage entre le niveau des stocks ou leur couverture et le taux de service attendu ou le taux de rupture.	Au-delà de l'inventaire général annuel, des inventaires tournants sont effectués de manière systématique.
2	Bonnes pratiques	La nécessité de travailler sur le couple paramètres (stocks et taux de service) au lieu des seuls stocks est comprise de tous, jusqu'au plus haut niveau de la hiérarchie. Des mesures sont faites par catégories pertinentes et des actions sont menées pour corriger les dérives constatées.	L'analyse du vieillissement des stocks est faite (tous les 3 mois environ). Des propositions en découlent pour déterminer la provision pour dépréciation des stocks et des mesures sont prises pour traiter, puis éliminer.
3	Excellence	Une démarche continue volontaire vise à optimiser sans cesse l'arbitrage entre le niveau des stocks et le taux de rupture pour garantir le niveau de service au client.	En matière de gestion des stocks, une politique d'entreprise permet de se positionner par rapport aux entreprises analogues ou concurrentes ainsi qu'au marché en termes de capital immobilisé, stratégie commerciale et progrès. Les écarts d'inventaire sont insignifiants; l'inventaire général annuel est supprimé.
EVALUATION		2	1
Commentaire		Il n'existe pas de règle formalisée et documentée/ définit l'arbitrage entre rupture de stock et taux de rupture.	Des SKU sont maintenus à des couvertures excessives sans provision de dépréciation documentée ni action d'élimination.
Points forts		Suivi des disponibilités. KPI CSL et taux de satisfaction suivis.	Inventaires journaliers systématiques

FIGURE 0.28 – Réponses à la question 6.2.1 et 6.2.2 de l'audit logistique




Chapitre 6. le stockage

6.2. Gestion des stocks

1

fondamentaux

6.2.3. Comment les réservations de stock sont-elles gérées ?

La gestion de toutes les réservations de stocks est assurée.

6.2.4. Comment une gestion des stocks de matières premières et/ou de stocks de produits finis est-elle assurée à l'extérieur du site de production ?

Une méthode existe. Elle permet d'assurer la disponibilité dans des conditions suffisantes tant économiques que pour le taux de service et le délai visés.

2

Bonnes pratiques

Cette gestion est informatique selon une méthode documentée dont la connaissance et l'application sont vérifiées de façon régulière.

D'autres méthodes de gestion sont envisagées. Un groupe de travail existe sous la direction d'une personne formée à cette fonction.

3

Excellence

De plus, le système d'information utilisé rend impossible tout mouvement physique autre que celui prévu, s'il n'a pas été préalablement permis par une autorité supérieure.

Des audits réguliers garantissent que la méthode utilisée est la mieux adaptée. L'évolution des marchés de l'entreprise et des contraintes d'approvisionnement sont suivies afin d'améliorer en permanence l'efficacité des outils utilisés.

EVALUATION

1

2

Commentaire

La gestion des réservations n'est pas informatisée.

Une méthode de gestion des stocks hors site existe : les entrepôts prestataires pour les MP et emballages, et le dépôt de Bldja pour les produits finis, assurent une disponibilité opérationnelle. Cependant, aucun audit régulier de la méthode externe n'a été identifié.

Points forts

Un projet WMS en cours.

Disponibilité assurée.

FIGURE 0.29 – Réponses à la question 6.2.3 et 6.2.4 de l'audit logistique



ASLOG
Les acteurs de la Supply Chain



TotalEnergies

Chapitre 6. le stockage

6.2. Gestion des stocks

6.2.5. Comment une gestion des stocks de produits finis est-elle assurée dans le site de production ?

6.2.6. Comment une gestion des stocks de produits finis est-elle assurée pour les stocks entreposés temporairement chez des prestataires ?

1 fondamentaux

À l'exception de dispositions particulières prises avec les clients, le stationnement des produits finis en sortie de production est limité au temps que nécessitent les opérations techniques de manutention, d'enlèvement client, de transport ou d'expédition.

Une règle précise les conditions physiques et économiques du choix des produits et des prestataires pour le stockage temporaire extérieur. Quelles que soient les raisons qui ont motivé cette décision.

2 Bonnes pratiques

Lors d'une production à la commande, toute quantité fabriquée en excès est proposée au client. Lors d'une production pour le stock, l'excès de produits finis est pris en compte pour la programmation future.

En outre, les stocks extérieurs sont gérés comme des stocks internes. Le système d'information permet cette gestion. Les calculs préalables à la prise de chaque décision de ce type conduisent à l'optimisation des coûts.

3 Excellence

Une action régulière et volontaire existe. Elle permet d'atteindre un objectif idéal proche du stock zéro et de libérer des surfaces et des ressources pour d'autres activités logistiques et/ou de production.

Les critères de choix sont revus en permanence pour limiter le recours à cette décision et garantir une gestion sans cesse améliorée.

EVALUATION

1

1

Commentaire

Le site de production d'Oran dispose d'un espace de stockage couvrant environ une semaine de production pour la région Ouest avant transfert à Blida. Ce délai de transit correspond aux opérations de manutention et logistique. Cependant, des surstocks ont été identifiés à Blida issus de productions non alignées avec la demande réelle.

Des règles de choix des prestataires de stockage existent (conditions contractuelles, HSE, capacités). Cependant, les stocks chez les prestataires ne sont pas intégrés dans SAP, il n'y a pas de gestion unifiée permettant la visibilité en temps réel.

Points forts

Transit logistique organisé entre Oran et Blida.

Règles de sélection des prestataires documentées. Contrats en place.

FIGURE 0.30 – Réponses à la question 6.2.5 et 6.2.6 de l'audit logistique



ASLOG
Les acteurs de la Supply Chain



TotalEnergies

Chapitre 6. le stockage

6.2. Gestion des stocks

6.2.7. Comment une gestion des stocks de produits finis est-elle assurée pour les stocks en consignation chez les clients ?

1	fondamentaux	Une codification commune est utilisée par les deux parties. Elle permet de garantir la continuité de l'information dans les deux systèmes.
2	Bonnes pratiques	Une remontée régulière et convenue de l'information de vente et/ou de livraison garantit la fiabilité de l'inventaire permanent.
3	Excellence	Les inventaires conduits séparément par les deux parties montrent de moins en moins d'écart.
EVALUATION		3
Commentaire		La codification produit est commune (SAP côté TELA, systèmes clients). Le suivi des ventes chez les distributeurs existe via les équipes commerciales par l'ERP SFA formalisé dans un processus de consignation avec remontée d'inventaire structurée.
Points forts		Codification produit commune avec les clients. Suivi commercial des ventes distributeurs.

FIGURE 0.31 – Réponses à la question 6.2.7 de l'audit logistique



ASLOG
Les acteurs de la Supply Chain



TotalEnergies

Chapitre 6. le stockage

6.3. Activités et aléas

6.3.1. À quel moment les mouvements de stock sont-ils enregistrés ?

6.3.2. Quelles règles régissent les stocks des fournisseurs pour les produits qui sont approvisionnés ?

1 fondamentaux

Les mouvements sont traités rapidement et de manière fiable. Tout écart constaté en cours d'exploitation entre le physique et le système d'information fait l'objet d'une correction immédiate dans le système.

Des stocks existent et remplissent leur rôle d'effacer les aléas quels qu'ils soient.

2 Bonnes pratiques

Par déclaration directe ou en différé, le moment de prise en compte du mouvement a été choisi pour éviter les écarts. Pour des raisons de rapidité et de fiabilité, le système de saisie utilise de préférence des moyens automatiques (échange de données informatisé, codes à barres, etc.). Les causes d'écart sont analysées. Des actions correctives et préventives sont menées.

Ces stocks sont déterminés selon une méthode connue. Le fournisseur informe son donneur d'ordre de chacune des évolutions de la méthode.

3 Excellence

L'intégration via les systèmes d'information (interfaces avec d'autres systèmes de gestion) évite la reprise des données et permet, par simple validation, la mise à jour rapide du niveau des stocks lors des mouvements.

La méthode a été mise au point avec le fournisseur. Elle est mise à jour régulièrement afin de minimiser les stocks sans altérer le taux de service. Le fournisseur confie la gestion de ce stock à son donneur d'ordre.

EVALUATION

2

2

Commentaire

Tous les mouvements de stock sont enregistrés en temps réel dans SAP (réceptions, expéditions, transferts inter-sites). Les inventaires journaliers permettent la correction immédiate des écarts. La saisie est assistée et les causes d'écarts sont analysées avec actions correctives. Cependant, il n'existe pas d'intégration automatique complète avec les SI des fournisseurs et clients.

Des stocks tampons existent chez les fournisseurs permettant d'absorber les aléas d'approvisionnement, ces stocks sont déterminés selon une méthode formalisée et partagée avec TELA : les fournisseurs communiquent systématiquement sur l'évolution de leurs niveaux de stock avec une équipe interne.

Points forts

Enregistrement temps réel SAP. Inventaires journaliers. Analyse des causes d'écarts.

Stocks tampons fournisseurs existants. Partenariat avec Sonatrach pour les huiles de base.

FIGURE 0.32 – Réponses à la question 6.3.1 et 6.3.2 de l'audit logistique



ASLOG
Les acteurs de la Supply Chain



TotalEnergies

Chapitre 6. le stockage

6.3. Activités et aléas

6.3.2. Quelles règles régissent les stocks des fournisseurs pour les produits qui sont approvisionnés ?

6.3.3. Comment les moyens de manutention et de stockage sont-ils maintenus ?

1 fondamentaux

Des stocks existent et remplissent leur rôle d'effacer les aléas quels qu'ils soient.

Un personnel de maintenance compétent est présent sur le site pendant les horaires d'ouverture.

2 Bonnes pratiques

Ces stocks sont déterminés selon une méthode connue. Le fournisseur informe son donneur d'ordre de chacune des évolutions de la méthode.

Si les ressources de réparation sont insuffisantes sur le site, des contrats sont signés incluant des délais de réparation garantis. En cas d'intervention prolongée, un matériel de rechange est disponible.

3 Excellence

La méthode a été mise au point avec le fournisseur. Elle est mise à jour régulièrement afin de minimiser les stocks sans altérer le taux de service. Le fournisseur confie la gestion de ce stock à son donneur d'ordre.

Les installations et matériels font l'objet d'un plan de maintenance préventive.

EVALUATION

2

3

Commentaire

Des stocks tampons existent chez les fournisseurs permettant d'absorber les aléas d'approvisionnement, ces stocks sont déterminés selon une méthode formalisée et partagée avec TELA : les fournisseurs communiquent systématiquement sur l'évolution de leurs niveaux de stock avec une équipe interne.

Un personnel de maintenance compétent est présent sur le site de Blida pendant les heures d'ouverture. Des contrats de maintenance et de réparation avec des prestataires sont en place, avec des délais garantis (une culture HSE et les 12 règles d'or TotalEnergies qui incluent la maintenance des engins). Un plan de maintenance préventive formalisé documenté avec un calendrier et des indicateurs de disponibilité.

Points forts

Stocks tampons fournisseurs existants. Partenariat avec Sonatrach pour les huiles de base.

Personnel de maintenance sur site. Contrats prestataires. Culture HSE forte (bridge chariots à 7 km/h).

FIGURE 0.33 – Réponses à la question 6.3.3 et 6.3.4 de l'audit logistique

 Chapitre 6. le stockage	
6.4. Personnel	
6.4.1. Comment les mouvements et transactions de stocks sont-ils gérés ?	
1	fondamentaux Le personnel autorisé à effectuer des mouvements et transactions de stock est formé à cela. Les responsabilités sont définies.
2	Bonnes pratiques Aucun mouvement physique ne peut avoir lieu sans que le système d'information ne soit renseigné. Les responsabilités quant aux régularisations de stock sont clairement assignées.
3	Excellence En cas d'écart, le personnel aide aux recherches et analyses. Il participe aux actions de progrès.
EVALUATION	
3	
Commentaire	Le personnel du site de Blida est formé aux opérations de gestion des stocks dans SA et les responsabilités sont définies par poste. Tout mouvement physique doit être enregistré dans SAP. En cas d'écart, le personnel participe à l'analyse et aux actions correctives dans le cadre de la démarche kaizen déployée sur le site.
Points forts	Personnel formé. Traçabilité complète des mouvements. Démarche kaizen.

FIGURE 0.34 – Réponses à la question 6.4.1 de l'audit logistique

 Chapitre 6. le stockage	
6.5. Moyens	
6.5.1. Comment les moyens de manutention et de stockage sont-ils gérés ? 6.5.2. Comment les emballages et conditionnements sont-ils gérés ?	
1	fondamentaux La quantité et la qualité des moyens de manutention et de stockage disponibles répondent aux besoins. Les règles de sécurité sont respectées. L'entreprise privilégie l'utilisation d'emballages et conditionnements standardisés, de grandes diffusion.
2	Bonnes pratiques Les surfaces nécessaires sont suffisantes et révisées régulièrement : zones de réception, de transit, de stockage, d'expédition et de circulation ... Elles sont bien identifiées et respectées. Un programme de réduction du nombre de références d'emballages et conditionnement (types, variétés) existe.
3	Excellence Des mesures préventives sont prises pour lisser l'activité des magasins afin d'optimiser l'utilisation des ressources en cas de variations d'activité. Lorsque l'entreprise utilise des conditionnements et supports de manutention réutilisables (en navette), la décision est prise sur la base de critères logistiques et économiques.
EVALUATION	
2	
Commentaire	Des mesures préventives de lissage de l'activité en cas de variations ne sont pas formalisées illustre l'absence d'un mécanisme de lissage préventif.
Points forts	Parc de manutention adapté et sécurisé. Investissements chariots engagés. Zones bien identifiées.
1	
Commentaire	TELA utilise des emballages standardisés (bidons, fûts, palettes) de grande diffusion correspondant aux standards du secteur pétrolier. Une réflexion est en cours sur la réduction et l'optimisation des références d'emballages. Cependant, il n'existe pas encore de programme formalisé de navettes de conditionnements réutilisables avec analyse coût/bénéfice logistique documentée.
Points forts	Emballages standardisés. Réflexion en cours sur l'optimisation des formats MP.

FIGURE 0.35 – Réponses à la question 6.5.1 et 6.5.2 de l'audit logistique

Annexe 2

Critères de sélection des méthodes auto-projectives

Critères de sélection des techniques de Lissage

Méthode	Tendance	Saisonnalité	Chgt structure	Contraintes principales
Moyenne mobile simple (MMS)	Non	Non	Non	Retard systématique Pas de tendances et saisonnalité Choix de n arbitraire
Moyenne mobile double (MMD)	Oui	Non	Non	Retard amplifié Tendance linéaire uniquement Sensibilité au choix de n
Lissage exponentiel simple (LES)	Non	Non	Oui	Inadapté aux tendances Calibration de α délicate Faible flexibilité
Lissage exponentiel double (LED)	Oui	Non	Oui	Tendance linéaire Calibration de α, β Initialisation sensible Pas de saisonnalité
Holt-Winters Non Saisonnier	Oui	Non	Oui	Tendance linéaire uniquement Calibration de α et β sensible Initialisation délicate
Holt-Winters additif	Oui	Oui	Oui	Amplitude constante Calibration α, β, γ Initialisation difficile Au moins 2 cycles
Holt-Winters multiplicatif	Oui	Oui	Oui	Saisonnalité proportionnelle Calibration α, β, γ Sensible aux outliers Au moins 2 cycles

TABLE 0.17 – Critères de sélection des techniques de Lissage

Critères de sélection des techniques de Contrôle

Méthode	Tendance	Saisonnalité	Chgt structure	Contraintes principales
AR(p)	Indirecte	Non	Non	Exige la stationnarité Identification de l'ordre p (ACF/-PACF) Bruit blanc gaussien supposé
MA(q)	Indirecte	Non	Non	Exige la stationnarité Identification de l'ordre q (ACF) Condition d'invertibilité
ARMA(p, q)	Indirecte	Non	Non	Stationnarité requise Double identification (p, q) Risque de surparamétrisation
Box-Jenkins / ARIMA(p, d, q)	Oui	Oui	Oui	Série longue requise (> 50 obs.) Processus en 4 étapes Test de Dickey-Fuller (DF/ADF) Expertise statistique nécessaire Risque de surparamétrisation (AIC/BIC) Hypothèse de linéarité Sensible à la qualité des données

TABLE 0.18 – Critères de sélection des techniques de Contrôle

Synthèse comparative des modèles de ML pour la prévision de la demande

Méthode	Caractéristiques
Régression Linéaire	- Modèle supervisé basé sur une relation linéaire entre les variables d'entrée et la cible - Interprétabilité très élevée, les coefficients sont directement lisibles - Faible coût computationnel, rapide à entraîner - Suppose l'indépendance et la normalité des résidus - Ne capture pas les relations non linéaires - Inadaptée aux séries avec saisonnalité ou ruptures de tendance - Sensible aux valeurs aberrantes et à la multicollinéarité
Support Vector Regression	- Modèle supervisé qui cherche un hyperplan optimal dans un espace transformé par une fonction noyau (kernel) - Efficace sur les petits volumes de données - Robuste aux valeurs aberrantes grâce au paramètre epsilon - Performances dépendent fortement du choix du kernel (linéaire, RBF, polynomial) - Nécessite une normalisation obligatoire des données - Temps de calcul élevé sur grands volumes - Interprétabilité limitée
Réseau de Neurones Artificiels	- Modèle supervisé composé de couches de neurones interconnectés (couche d'entrée, couches cachées, couche de sortie) - Capable de capturer des relations complexes et non linéaires - Flexible et applicable à différents types de séries - Nécessite une normalisation des données en entrée - Risque de surapprentissage sur les petits historiques - Réglage délicat des hyperparamètres (nombre de couches, neurones, taux d'apprentissage) - Résultats peu interprétables (modèle de type boîte noire)
Long Short-Term Memory	- Architecture de réseau de neurones récurrents spécialisée dans le traitement des séries temporelles - Dispose d'un mécanisme de mémoire à long terme permettant de retenir les dépendances temporelles éloignées - Particulièrement adapté aux séries longues avec des patterns complexes - Nécessite un historique important pour converger - Très nombreux hyperparamètres à calibrer - Temps d'entraînement très élevé - Sensible à la qualité et à la quantité des données d'apprentissage
Random Forest	- Modèle d'apprentissage ensembliste composé d'un grand nombre d'arbres de décision entraînés sur des sous-échantillons aléatoires des données - Chaque arbre produit une prédiction indépendante et la sortie finale est la moyenne de l'ensemble des prédictions - Robuste au surapprentissage grâce au mécanisme de bagging - Gère efficacement les relations non linéaires et les interactions entre variables - Peu sensible aux valeurs aberrantes - Interprétabilité satisfaisante via l'importance des variables - Nécessite la création de variables décalées (lags) pour les séries temporelles - Les prévisions sur des horizons longs peuvent accumuler des erreurs de manière progressive
Extreme Gradient Boosting	- Modèle d'apprentissage ensembliste basé sur le boosting séquentiel d'arbres de décision - Chaque arbre corrige les erreurs du précédent de manière itérative - Très performant sur les données tabulaires et les séries temporelles - Gère nativement les données manquantes - Très sensible au réglage des hyperparamètres (taux d'apprentissage, profondeur, régularisation) - Risque de surapprentissage si les hyperparamètres ne sont pas bien calibrés - Plus complexe à mettre en œuvre que le Random Forest - Interprétabilité moyenne

FIGURE 0.36 – Synthèse comparative des modèles de Machine Learning pour la prévision de la demande

Annexe 3

Classification des produits par classe (ABC-XYZ)

TABLE 0.19 – Classification ABC-XYZ des produits

Produit	Σ Valeur	ABC	CV	XYZ	Classe	Produit	Σ Valeur	ABC	CV	XYZ	Classe
P003	20,74%	A	0,1	X	AX	P042	96,96%	C	0,9	Z	CZ
P007	29,22%	A	0,2	X	AX	P043	97,16%	C	0,7	Z	CZ
P009	36,06%	A	0,3	Y	AY	P044	97,35%	C	0,4	Y	CY
P011	42,18%	A	0,5	Y	AY	P045	97,53%	C	1,8	Z	CZ
P005	48,23%	A	0,1	X	AX	P046	97,71%	C	1,1	Z	CZ
P024	54,06%	A	0,4	Y	AY	P047	97,87%	C	0,7	Z	CZ
P006	59,31%	A	0,2	X	AX	P048	98,02%	C	1,7	Z	CZ
P008	63,47%	A	0,2	X	AX	P049	98,16%	C	0,9	Z	CZ
P004	66,65%	A	0,2	X	AX	P050	98,29%	C	0,6	Z	CZ
P001	69,23%	A	0,2	X	AX	P051	98,43%	C	2,1	Z	CZ
P012	71,71%	A	0,4	Y	AY	P052	98,55%	C	0,4	Y	CY
P002	74,14%	A	0,2	X	AX	P053	98,65%	C	1,4	Z	CZ
P015	76,50%	A	0,5	Z	AZ	P054	98,75%	C	1,4	Z	CZ
P014	78,64%	A	0,3	Y	AY	P055	98,84%	C	2,0	Z	CZ
P013	80,70%	A	0,4	Y	AY	P056	98,93%	C	1,2	Z	CZ
P025	82,16%	B	0,8	Z	BZ	P057	99,02%	C	0,7	Z	CZ
P021	83,55%	B	0,5	Z	BZ	P058	99,10%	C	1,9	Z	CZ
P026	84,82%	B	1,6	Z	BZ	P059	99,18%	C	1,1	Z	CZ
P027	85,90%	B	0,7	Z	BZ	P060	99,25%	C	0,9	Z	CZ
P023	86,90%	B	0,6	Z	BZ	P061	99,31%	C	2,5	Z	CZ
P028	87,85%	B	0,9	Z	BZ	P062	99,38%	C	2,2	Z	CZ
P029	88,75%	B	0,8	Z	BZ	P063	99,44%	C	0,6	Z	CZ
P019	89,58%	B	0,3	Y	BY	P064	99,50%	C	1,8	Z	CZ
P030	90,33%	B	0,8	Z	BZ	P065	99,55%	C	2,1	Z	CZ
P018	91,03%	B	0,4	Y	BY	P066	99,60%	C	2,5	Z	CZ
P031	91,68%	B	0,7	Z	BZ	P067	99,65%	C	1,3	Z	CZ
P020	92,33%	B	0,6	Z	BZ	P068	99,70%	C	0,7	Z	CZ
P017	92,83%	B	0,4	Y	BY	P069	99,74%	C	2,5	Z	CZ
P032	93,26%	B	0,7	Z	BZ	P070	99,78%	C	1,3	Z	CZ
P033	93,66%	B	1,2	Z	BZ	P071	99,82%	C	2,3	Z	CZ
P034	94,05%	B	0,8	Z	BZ	P072	99,86%	C	1,0	Z	CZ
P022	94,39%	B	0,6	Z	BZ	P073	99,89%	C	3,3	Z	CZ
P035	94,73%	B	1,5	Z	BZ	P074	99,92%	C	0,9	Z	CZ
P016	95,07%	B	0,3	Y	BY	P075	99,94%	C	1,2	Z	CZ
P036	95,37%	C	0,4	Y	CY	P076	99,97%	C	2,8	Z	CZ
P037	95,66%	C	0,7	Z	CZ	P077	99,98%	C	3,5	Z	CZ
P038	95,94%	C	0,5	Z	CZ	P078	99,99%	C	3,5	Z	CZ
P039	96,20%	C	1,2	Z	CZ	P079	99,99%	C	3,5	Z	CZ
P040	96,46%	C	0,9	Z	CZ	P080	100,00%	C	3,5	Z	CZ
P041	96,71%	C	1,4	Z	CZ	P081	100,00%	C	1,4	Z	CZ

Annexe 4

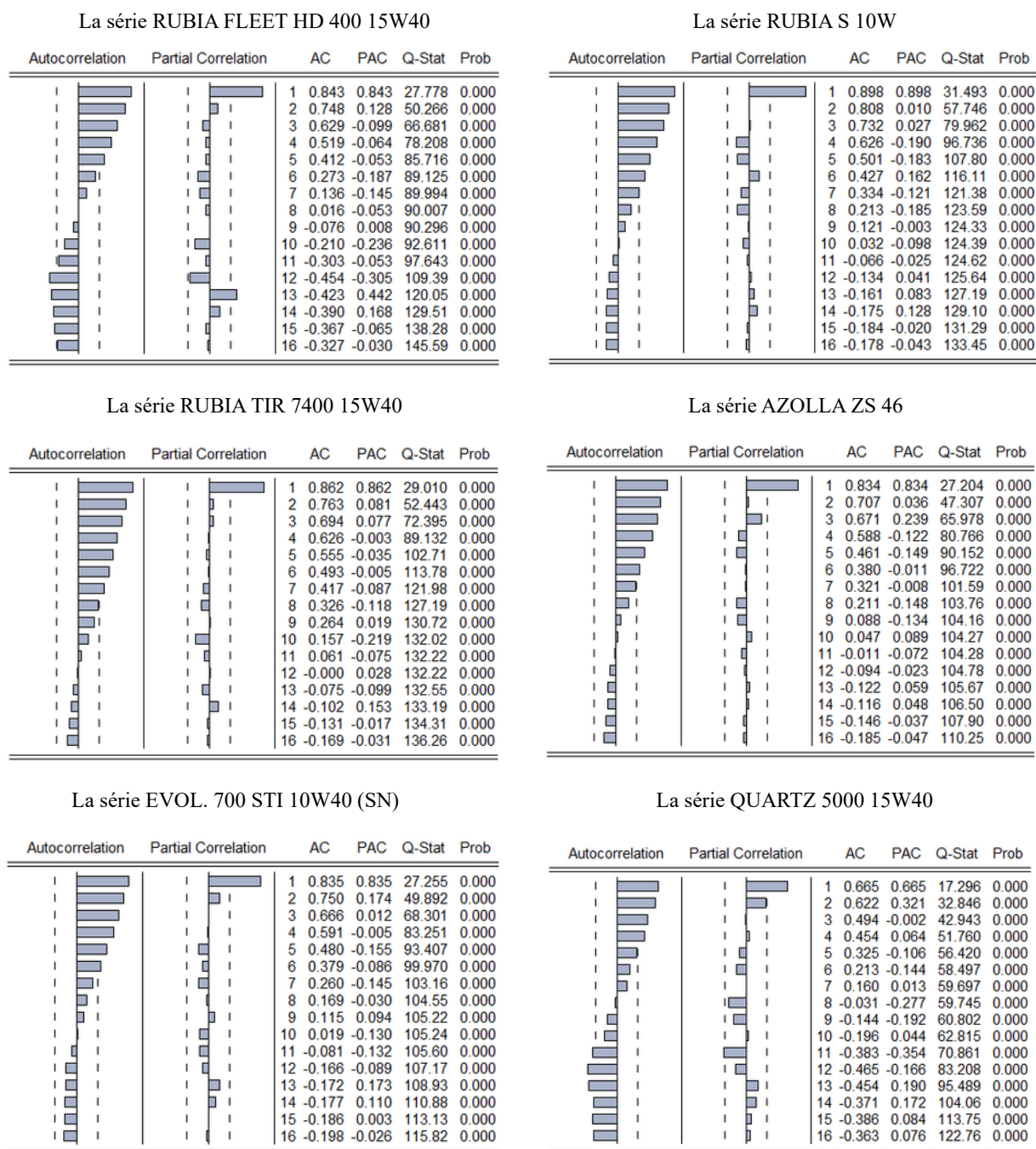


FIGURE 0.37 – Corrélogrammes des séries (1)

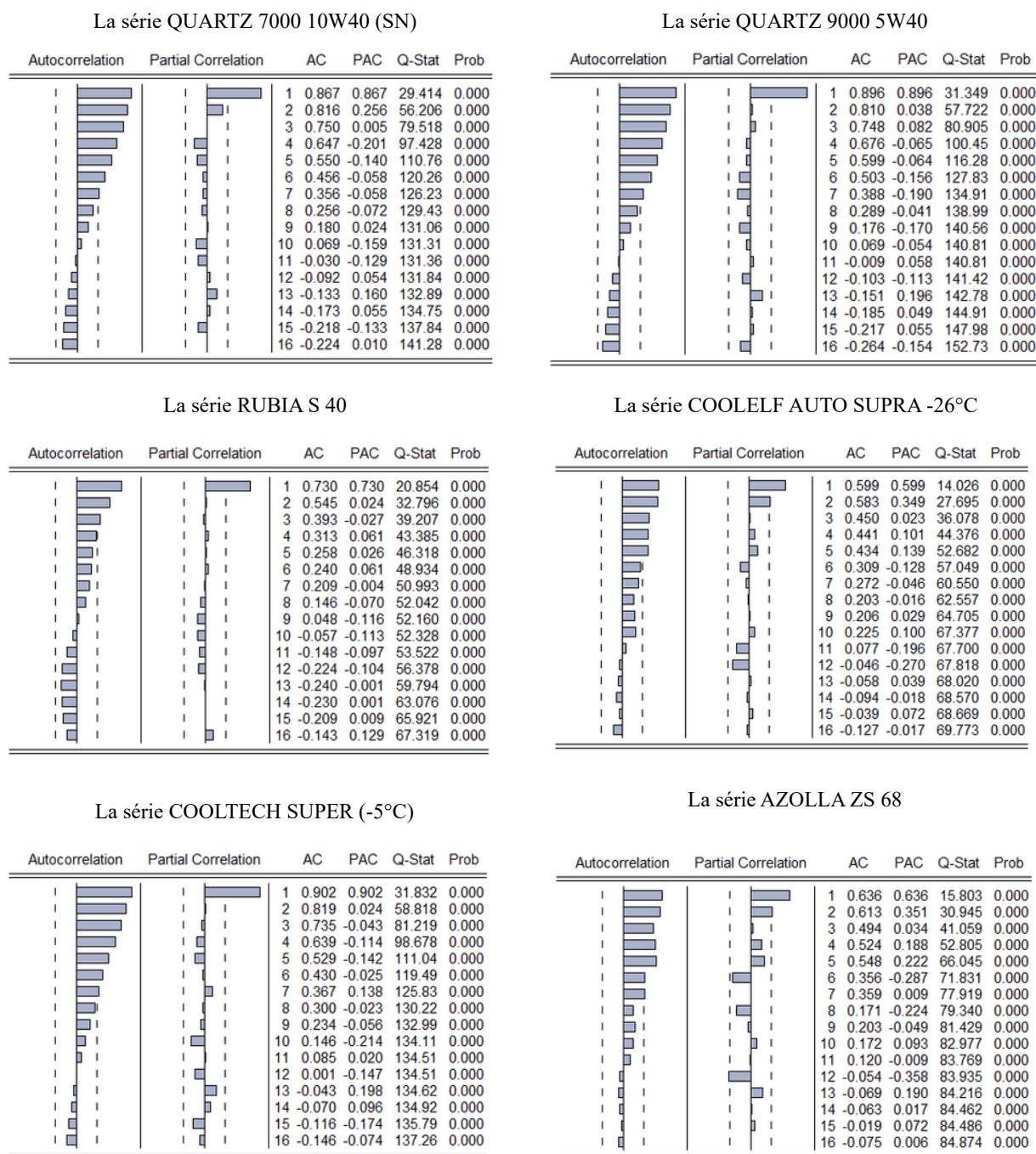
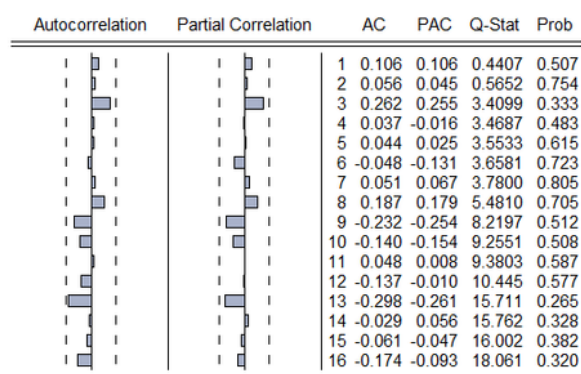
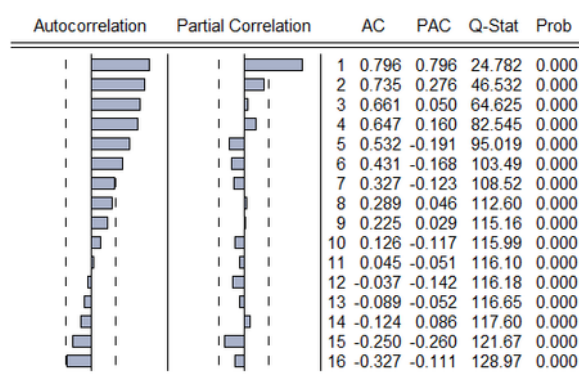


FIGURE 0.38 – Corrélogrammes des séries (2)

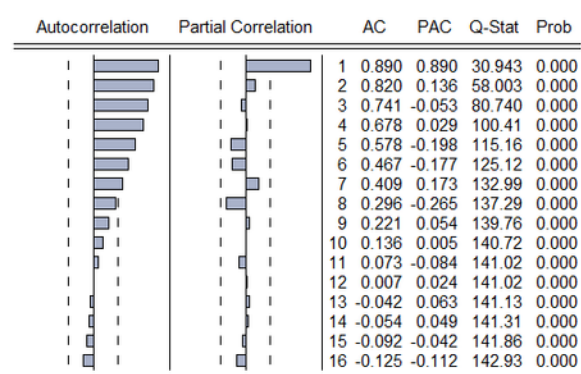
La série EVOL. 500 TS 15W40



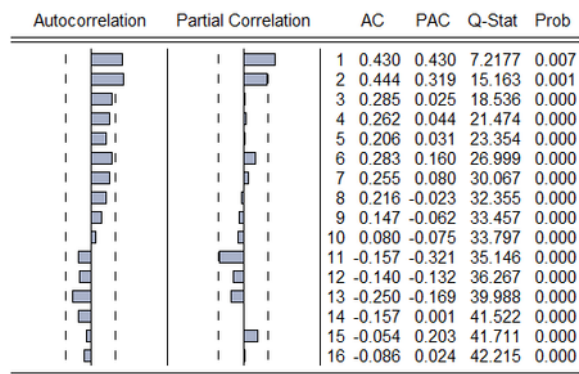
La série EVOL. 900 SXR 5W40



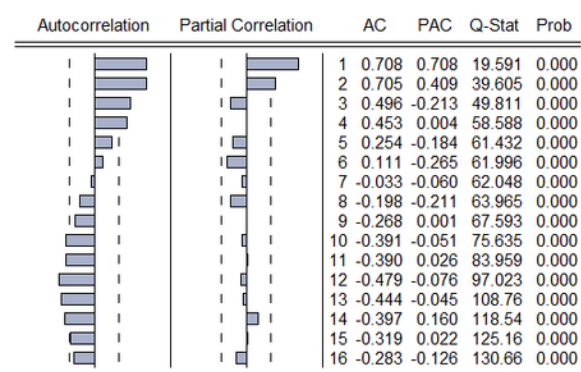
La série QUARTZ INEO HTC 5W30



La série FLUIDMATIC DIII MV



La série QUARTZ INEO C3 5W40



La série QUARTZ INEO FIRST 0W30

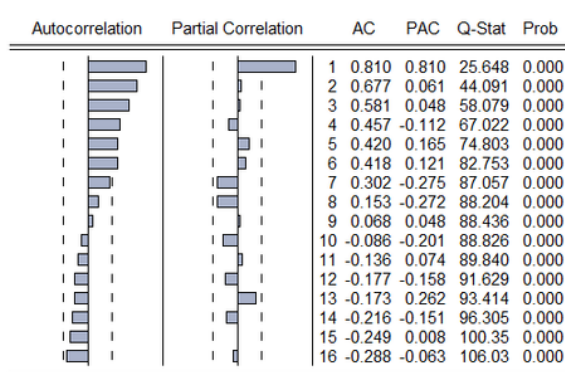
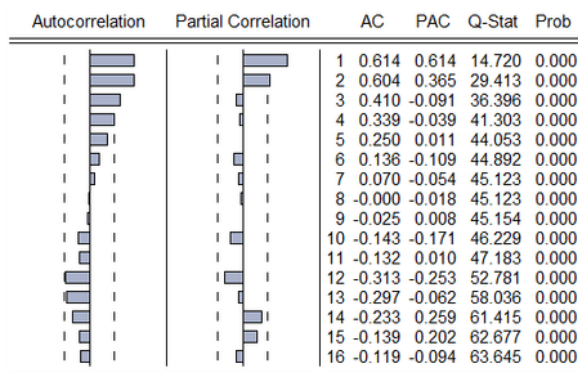
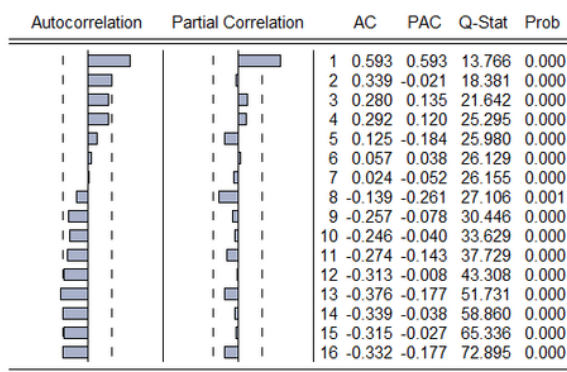


FIGURE 0.39 – Corrélrogrammes des séries (3)

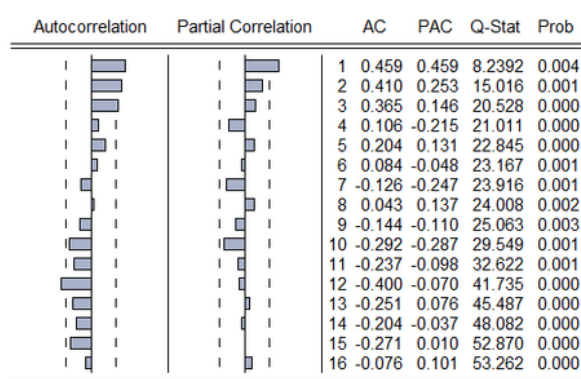
La série TRANSTEC 5 80W90



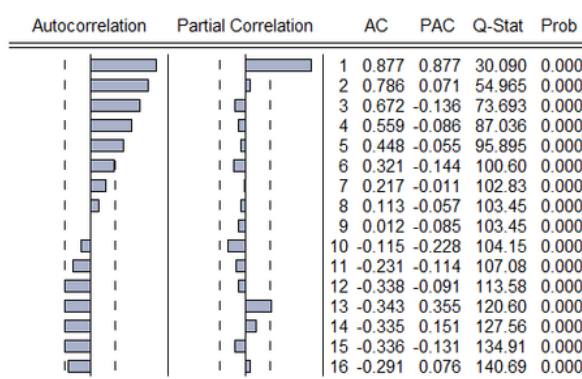
La série AZOLLA ZS 32



La série MOTOR OIL 20W50



La série MOTRIO 15W40



La série QUARTZ INEO MDC 5W30

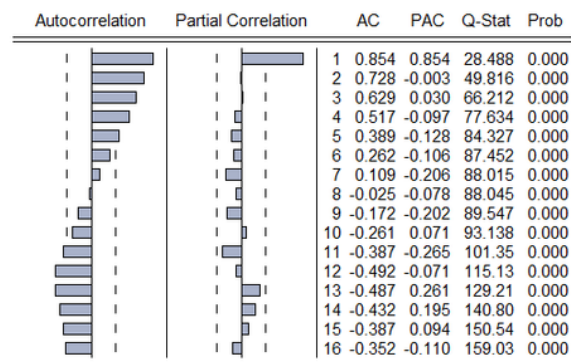


FIGURE 0.40 – Corrélrogrammes des séries (4)

Code Produit	Test de Dickey-Fuller
P001	Processus DS
P002	Processus DS
P003	Processus TS
P004	Processus DS
P005	Processus DS
P006	Processus DS
P007	Processus DS
P008	Processus DS
P009	Processus DS
P010	Processus TS
P011	Processus DS
P012	Processus TS
P013	Stationnaire
P014	Processus DS
P015	Processus TS
P016	Processus TS
P017	Processus DS
P018	Processus DS
P019	Processus DS
P020	Processus DS
P021	Stationnaire
P022	Processus DS
P023	Processus DS

TABLE 0.20 – Résultats du test de Dickey-Fuller par produit

Code Produit	Modèle expert	Validité
P001	ARMA(12,0)	Non valide (test de normalité et de bruit blanc non vérifié)
P002	ARMA(0,0)	Non valide
P003	ARMA(0,0)	Non valide
P004	ARMA(5,0)	Non valide (test de bruit blanc non vérifié)
P005	ARMA(0,1)	Non valide (test de normalité non vérifié)
P006	ARMA(11,4)	Non valide
P007	ARMA(1,0)	Non valide (test de normalité non vérifié)
P008	ARMA(0,0)	Non valide
P009	ARMA(1,1)	Non valide
P010	ARMA(0,0)	Non valide
P011	ARMA(11,3)	Non valide
P012	ARMA(0,8)	Non valide
P013	ARMA(0,0)	Non valide
P014	ARMA(0,1)	Non valide (test de normalité non vérifié)
P015	ARMA(8,0)	Non valide (test de bruit blanc non vérifié)
P016	ARMA(11,2)	Non valide
P017	ARMA(1,0)	Non valide (test de normalité non vérifié)
P018	ARMA(0,4)	Non valide (test de normalité non vérifié)
P019	ARMA(1,0)	Valide
P020	ARMA(0,1)	Non valide
P021	ARMA(3,2)	Non valide
P022	ARMA(0,0)	Non valide
P023	ARMA(0,0)	Non valide

TABLE 0.21 – Résultats des modèles ARMA par produit

Annexe 5

Comparaison des méthodes de prévision (technique de lissage) selon les indicateurs d'erreur

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P001	HWNS	18,7	10,8	348,3	12,8
P001	HWSA	17,6	8,9	309,5	9,9
P001	LED	20,1	13,7	406,0	19,0
P001	LES	19,0	10,6	359,3	13,8
P001	MMS	12,9	7,0	167,6	7,7

TABLE 0.22 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P001

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P002	HWNS	8,0	5,4	64,5	8,2
P002	HWSA	6,1	4,7	37,1	7,1
P002	LES	8,4	6,1	71,1	9,9
P002	LED	9,1	6,5	82,9	10,6
P002	MMS	5,8	3,9	33,2	5,9

TABLE 0.23 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P002

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P003	HWNS	52,3	35,1	2731,7	5,5
P003	HWSA	29,5	24,0	867,8	3,6
P003	LES	53,4	36,7	2853,0	5,9
P003	LED	50,9	40,7	2595,5	6,5
P003	MMS	34,2	23,4	1169,0	3,6

TABLE 0.24 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P003

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P004	HWSA	18,4	11,5	339,8	5,6
P004	HWNS	21,1	14,3	445,7	6,9
P004	LES	21,2	14,6	447,4	7,2
P004	LED	21,6	15,5	467,8	7,5
P004	MMS	14,1	9,3	198,1	4,5

TABLE 0.25 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P004

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P005	HWSA	25,8	20,0	665,3	8,1
P005	HWNS	35,8	27,2	1280,2	11,7
P005	LES	35,7	25,6	1276,4	10,8
P005	LED	35,8	27,2	1280,2	11,7
P005	MMS	23,2	15,9	536,6	6,0

TABLE 0.26 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P005

Code	Modèle	RMSE	MAD (MAE)	MSE	MAPE (%)
P006	HWNS	15,3	10,7	232,7	9,1
P006	HWSA	11,5	9,3	131,6	8,4
P006	LES	16,1	11,1	259,1	10,5
P006	LED	16,6	11,5	275,4	11,3
P006	MMS	11,3	7,7	128,4	6,7

TABLE 0.27 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P006

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P007	HWSA	11,5	9,3	131,6	8,4
P007	HWNS	20,8	14,7	432,0	5,8
P007	LES	16,1	11,1	258,9	10,5
P007	LED	21,7	16,6	472,7	6,6
P007	MMS	14,6	10,3	213,1	4,1

TABLE 0.28 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P007

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P008	HWNS	9,3	7,4	86,7	6,6
P008	HWSA	8,8	7,3	77,3	6,5
P008	LES	10,5	8,4	111,0	7,7
P008	LED	9,7	7,8	94,2	7,0
P008	MMS	7,5	6,0	55,6	5,6

TABLE 0.29 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P008

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P009	HWNS	33,9	24,9	1147,6	16,6
P009	HWSA	26,2	18,7	687,6	12,1
P009	LED	35,0	26,4	1225,0	20,4
P009	LES	35,4	24,3	1251,7	18,9
P009	MMS	23,1	15,3	532,8	10,7

TABLE 0.30 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P009

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P010	HWNS	18,3	13,4	336,6	7,6
P010	HWSA	14,5	11,9	210,2	6,7
P010	LED	17,6	12,5	309,7	6,9
P010	LES	21,0	14,7	442,0	8,6
P010	MMS	14,1	10,0	199,8	5,6

TABLE 0.31 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P010

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P011	HWNS	30,9	17,3	957,5	NA
P011	HWSA	11,8	9,6	139,2	37,6
P011	LED	35,6	22,1	1269,5	1471,1
P011	LES	32,7	17,4	1067,8	3,2E+15
P011	MMS	23,8	12,8	568,6	NA

TABLE 0.32 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P011

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P012	HWNS	6,0	4,1	35,4	4,9
P012	HWSA	4,4	3,4	19,3	4,1
P012	LED	5,7	4,2	33,0	5,2
P012	LES	5,7	4,2	33,0	5,2
P012	MMS	4,6	3,3	21,2	4,0

TABLE 0.33 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d'erreur pour le produit P012

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P013	HWNS	11,6	8,5	135,5	10,8
P013	HWSA	9,5	7,0	90,9	8,8
P013	LED	12,2	9,3	148,9	11,8
P013	LES	12,0	8,6	143,6	11,1
P013	MMS	9,3	6,8	86,9	8,6

TABLE 0.34 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P013

Code	Méthode	RMSE	MAE (MAD)	MSE	MAPE (%)
P014	HWNS	12,6	10,0	159,9	17,0
P014	HWSA	9,2	6,9	84,6	11,2
P014	LED	12,7	10,3	162,5	18,2
P014	LES	13,0	9,1	169,6	18,1
P014	MMS	9,1	6,2	81,9	11,0

TABLE 0.35 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P014

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P015	HWNS	6,7	112,5	10,6	25,8
P015	HWSA	4,9	34,5	5,9	26,2
P015	LES	7,0	132,2	11,5	23,6
P015	LED	9,1	131,6	11,5	55,9
P015	MMS	19,2	493,4	37,4	22,2

TABLE 0.36 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P015

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P016	HWNS	1,2	2,3	1,5	10,2
P016	HWSA	0,9	1,4	1,2	8,1
P016	LES	1,2	2,5	1,6	10,7
P016	LED	1,1	2,3	1,5	10,0
P016	MMS	1,0	2,7	1,6	10,1

TABLE 0.37 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P016

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P017	HWNS	5,9	72,4	8,5	30,3
P017	HWSA	5,6	49,9	7,1	30,1
P017	LES	5,8	72,7	8,5	27,9
P017	LED	6,2	78,7	8,9	31,8
P017	MMS	11,6	199,2	14,1	46,8

TABLE 0.38 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P017

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P018	HWNS	5,8	73,2	8,6	98,5
P018	HWSA	4,7	39,8	6,3	109,4
P018	LES	5,2	71,6	8,5	51,6
P018	LED	5,8	82,7	9,1	89,0
P018	MMS	9,8	184,3	13,6	35,2

TABLE 0.39 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P018

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P019	HWNS	4,0	30,7	5,5	13,9
P019	HWSA	3,7	23,1	4,8	12,7
P019	LES	3,9	31,4	5,6	13,6
P019	LED	4,3	34,1	5,8	15,2
P019	MMS	5,6	54,0	7,4	16,7

TABLE 0.40 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P019

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P020	HWNS	2,2	8,6	2,9	10,1
P020	HWSA	1,9	5,7	2,4	8,7
P020	LES	2,1	8,7	3,0	10,1
P020	LED	2,4	9,7	3,1	11,2
P020	MMS	3,0	15,0	3,9	14,4

TABLE 0.41 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P020

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P021	HWNS	6,0	57,0	7,6	13,3
P021	HWSA	5,5	49,1	7,0	12,3
P021	LES	5,8	55,6	7,5	13,2
P021	LED	6,2	61,3	7,8	13,7
P021	MMS	7,8	85,4	9,2	18,7

TABLE 0.42 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P021

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P022	HWNS	1,9	10,9	3,3	19,5
P022	HWSA	1,4	8,0	2,8	11,5
P022	LES	1,8	11,8	3,4	17,4
P022	LED	2,3	13,2	3,6	19,6
P022	MMS	5,3	48,8	7,0	35,6

TABLE 0.43 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P022

Code	Méthode	MAD (MAE)	MSE	RMSE	MAPE (%)
P023	HWNS	7,3	109,7	10,5	22,9
P023	HWSA	6,3	85,1	9,2	21,9
P023	LES	7,1	111,7	10,6	21,8
P023	LED	8,6	130,6	11,4	28,8
P023	MMS	17,1	446,7	21,1	37,4

TABLE 0.44 – Comparaison des méthodes de prévision selon les indicateurs d’erreur pour le produit P023

Modèle	Avantages	Limites critiques dans le contexte de TELA
Régression Linéaire	Simple, rapide, interprétable. Approprié pour les relations linéaires entre variables.	Suppose une relation linéaire entre les features et la cible. Ne capture pas les non-linéarités ni les dépendances temporelles. Nécessite des variables explicatives fiables et disponibles. Or, dans notre contexte, les facteurs exogènes ne sont pas quantifiables sans risque d'erreur. De plus, les séries présentent des non-linéarités et des comportements stochastiques incompatibles avec ce modèle.
SVR — Support Vector Regression	Efficace pour les petits datasets. Robuste au bruit. Bon en haute dimension.	Très sensible au choix des hyperparamètres (kernel, C, epsilon) leur optimisation sur 36 observations risque un surapprentissage sévère. Le SVR ne dispose pas d'une mémoire temporelle intrinsèque : il faut construire des features lag manuellement. Cette ingénierie des features, sur des séries courtes et hétérogènes, introduit une instabilité importante. Enfin, le SVR produit des prévisions peu interprétables pour les praticiens logistiques.
RNA (Réseau de Neurones Artificiels)	Capacité à modéliser des relations complexes non-linéaires. Universel.	Les réseaux de neurones MLP nécessitent de grands volumes de données pour généraliser correctement. Avec 36 observations par série, le réseau est incapable de distinguer le signal du bruit, conduisant systématiquement à un surapprentissage. Les RNA manquent également de mémoire séquentielle intrinsèque, ils perdent l'information temporelle. La faible interprétabilité constitue un frein opérationnel supplémentaire.

Modèle	Avantages	Limites critiques dans notre contexte
LSTM — Long Short-Term Memory	Conçu pour les séquences temporelles longues. Capture des dépendances à long terme.	Le LSTM est l'architecture de référence pour les séries temporelles longues. Cependant, il nécessite au minimum plusieurs centaines d'observations pour être entraîné de manière stable. Avec 36 points par série, l'entraînement du LSTM converge vers une mémorisation des données d'entraînement (surapprentissage) sans généralisation. De plus, son implémentation requiert des ressources computationnelles (GPU) et des compétences en deep learning incompatibles avec le contexte opérationnel de TELA. Les performances sur de très petits datasets sont systématiquement inférieures aux méthodes ensemblistes.
Random Forest	Robuste aux petits datasets. Faible variance par bagging. Interprétable (importance des features). Pas besoin de normalisation. Pas d'hypothèse de linéarité. Gestion naturelle des outliers.	Ne prédit pas par nature des séquences futures : il faut transformer le problème en supervised learning par création de features lag. La construction de ces features doit être rigoureuse. Les prévisions multi-pas en avant peuvent dériver si la stratégie de prévision n'est pas adaptée (récursive vs directe).
XGBoost — Extreme Gradient Boosting	Très performant sur les données tabulaires. Régularisation intégrée (L1/L2). Gestion des valeurs manquantes. Souvent meilleur que RF sur données tabulaires.	Sensible au surapprentissage sur de très petits datasets en raison de sa complexité (boosting séquentiel). Le nombre d'hyperparamètres à optimiser (learning rate, max_depth, n_estimators, subsample) est plus élevé, et leur réglage sur 36 observations est délicat. Random Forest, de par son mécanisme de bagging, offre une variance naturellement plus faible sur les petits datasets. XGBoost reste un modèle concurrent sérieux, mais son risque de surapprentissage est plus élevé dans ce contexte.

TABLE 0.45 – Analyse des modèles candidats

Annexe 6

Performances du modèle Random Forest par produit

Produit	MAD	MSE	RMSE	MAPE (%)
P001	5,20	33,75	5,81	5,51
P002	5,74	44,47	6,67	5,87
P003	35,84	1589,42	39,87	4,47
P004	7,00	89,32	9,45	5,34
P005	15,17	266,35	16,32	6,25
P006	9,70	168,28	12,97	5,29
P007	29,21	1118,82	33,45	9,48
P008	2,36	7,85	2,80	1,54
P009	8,65	109,48	10,46	3,27
P010	19,06	463,22	21,52	9,28
P011	9,96	122,58	11,07	4,28
P012	7,22	55,66	7,46	7,63
P013	22,40	697,37	26,41	36,67
P014	9,26	144,30	12,01	10,95
P015	10,19	134,87	11,61	12,37
P016	0,63	0,80	0,89	5,32
P017	3,07	12,97	3,60	15,56
P018	4,82	31,41	5,60	19,32
P019	2,56	8,83	2,97	7,62
P020	3,75	18,82	4,34	15,95
P021	7,91	80,31	8,96	17,56
P022	0,81	0,94	0,97	6,00
P023	10,12	119,30	10,92	28,98

TABLE 0.46 – Performances du modèle Random Forest par produit

Le code python du modèle Random Forest :

```

X_f = pd.DataFrame([[
    historique[-1],
    historique[-2],
    historique[-3],
    np.mean(historique[-3:]),
    np.mean(historique[-6:]),
    mois_f,
    trim_f,
    mois_n
]], columns=X.columns)

pred = max(model.predict(X_f)[0], 0)

previsions.append(pred)

historique.append(pred)

# Tableau des prévisions

dates_futures = pd.date_range(
    start=df['Date'].iloc[-1] + pd.DateOffset(months=1),
    periods=HORIZON,
    freq='MS'
)

df_previsions = pd.DataFrame({
    'Date': dates_futures.strftime('%d/%m/%Y'),
    'Prévision': np.round(previsions, 2)
})

df_previsions.to_excel(
    'previsions_random_forest.xlsx',
    index=False
)

files.download('previsions_random_forest.xlsx')

```

```

# Prédiction test

y_pred = model.predict(X_test)

# Métriques

MAD = mean_absolute_error(y_test, y_pred)

MSE = mean_squared_error(y_test, y_pred)

RMSE = np.sqrt(MSE)

MAPE = np.mean(
    np.abs((y_test.values - y_pred) / y_test.values)
) * 100

print(f"Produit : {produit}")
print(f"MAD : {MAD:.2f}")
print(f"MSE : {MSE:.2f}")
print(f"RMSE : {RMSE:.2f}")
print(f"MAPE : {MAPE:.2f}%")

# Prévisions futures

HORIZON = 3

historique = list(serie.values)

previsions = []

for h in range(1, HORIZON + 1):

    mois_f = ((df['Date'].iloc[-1].month - 1 + h) % 12) + 1
    trim_f = (mois_f - 1) // 3 + 1
    mois_n = df['mois_num'].iloc[-1] + h

    X_f = pd.DataFrame([[
        historique[-1],
        historique[-2],

```

```

data['lag_1'] = serie.shift(1)
data['lag_2'] = serie.shift(2)
data['lag_3'] = serie.shift(3)

data['rolling_3'] = serie.shift(1).rolling(3).mean()
data['rolling_6'] = serie.shift(1).rolling(6).mean()

data['mois'] = df['mois']
data['trimestre'] = df['trimestre']
data['mois_num'] = df['mois_num']

# Supprimer les lignes NaN
data = data.dropna()

# Variables X et y
X = data.drop('target', axis=1)
y = data['target']

# Split train / test
split = int(len(X) * 0.8)

X_train = X.iloc[:split]
X_test = X.iloc[split:]

y_train = y.iloc[:split]
y_test = y.iloc[split:]

# Modèle Random Forest
model = RandomForestRegressor(
    n_estimators=200,
    max_depth=10,
    random_state=42
)

model.fit(X_train, y_train)

```

```

import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error
from google.colab import files
import matplotlib.pyplot as plt

# Chargement des données
uploaded = files.upload()

df = pd.read_excel(list(uploaded.keys())[0])

# Conversion de la date
df['Date'] = pd.to_datetime(df['Date'], dayfirst=True)

# Trier par date
df = df.sort_values('Date').reset_index(drop=True)

# Choix du produit
produit = "AZOLLA ZS 46"

# Features temporelles
df['mois'] = df['Date'].dt.month
df['trimestre'] = df['Date'].dt.quarter
df['mois_num'] = range(len(df))

# Série du produit
serie = df[produit]

# Création des features
data = pd.DataFrame()

data['target'] = serie.values

```

Prévisions en utilisant le modèle LSTM

Le code python du modèle LSTM :

```

1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from sklearn.metrics import mean_absolute_percentage_error
5 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
6 from keras.models import Sequential
7 from keras.layers import LSTM, Dense, Dropout
8 from keras.callbacks import EarlyStopping
9
10 # 1. CHARGEMENT DES DONNÉES
11 data = pd.read_csv('C:/Users/dell/Desktop/PFE/donnees_generees.csv', index_col=0, parse_dates=True)
12 look_back = 6
13 forecasts = {}
14 mapes = {}
15
16 # 2. MODÈLE
17 def create_model(input_shape):
18     model = Sequential()
19     model.add(LSTM(16, activation='tanh', return_sequences=True, input_shape=input_shape))
20     model.add(Dropout(0.20))
21     model.add(LSTM(8, activation='tanh'))
22     model.add(Dropout(0.20))
23     model.add(Dense(1))
24     model.compile(loss='mean_squared_error', optimizer='rmsprop')
25     return model
26

```

```

27 # 3. BOUCLE PAR PRODUIT
28 for i in range(data.shape[1]):
29     product_name = data.columns[i]
30     print(f"\n--- Entraînement Modèle : {product_name} ---")
31
32     # Séparation Train / Test AVANT normalisation
33     train_raw = data[[product_name]].iloc[:-3].values.astype('float32')
34     # On prend les 3 derniers mois + look_back pour pouvoir reconstruire les fenêtres de test
35     test_raw = data[[product_name]].iloc[-(3 + look_back):].values.astype('float32')
36
37     # Normalisation
38     scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
39     scaled_train = scaler.fit_transform(train_raw)
40     scaled_test = scaler.transform(test_raw)
41
42     # Création des fenêtres pour le TRAIN
43     X_train, y_train = [], []
44     for t in range(len(scaled_train) - look_back):
45         X_train.append(scaled_train[t:t + look_back, 0])
46         y_train.append(scaled_train[t + look_back, 0])
47     X_train = np.reshape(np.array(X_train), (-1, look_back, 1))
48     y_train = np.array(y_train)
49
50     # Création des fenêtres pour le TEST
51     X_test, y_test = [], []
52     for t in range(len(scaled_test) - look_back):
53         X_test.append(scaled_test[t:t + look_back, 0])
54         y_test.append(scaled_test[t + look_back, 0])
55     X_test = np.reshape(np.array(X_test), (-1, look_back, 1))
56     y_test = np.array(y_test) # Conversion propre en array NumPy
57

```

```

58 early_stop = EarlyStopping(monitor='loss', patience=10, restore_best_weights=True)
59 model = create_model(input_shape=(look_back, 1))
60
61 model.fit(
62     X_train, y_train,
63     epochs=100,
64     batch_size=16,
65     validation_split=0.0,
66     callbacks=[early_stop],
67     verbose=0
68 )
69
70 # 4. PRÉDICTIONS
71 pred_scaled = model.predict(X_test, verbose=0)
72 pred = scaler.inverse_transform(pred_scaled).flatten()
73 real = scaler.inverse_transform(y_test.reshape(-1, 1)).flatten()
74
75 forecasts[product_name] = pred
76 mapes[product_name] = mean_absolute_percentage_error(real, pred)
77
78 # 5. RÉSULTATS
79 print("\n== MAPE PAR PRODUIT ==")
80 for product, mape in mapes.items():
81     print(f"{product} : {mape * 100.2f}%")
82
83 # 6. GRAPHIQUES
84 test_index = data.index[-3:]
85
86 for product in forecasts.keys():
87     plt.figure(figsize=(12, 5))
88     plt.plot(data.index, data[product], label='Valeurs réelles', marker='x', color='blue', linewidth=1.5)
89
90     # On affiche la prévision superposée aux 3 derniers mois
91     plt.plot(data.index[-4:], [data[product].iloc[-4]] + list(forecasts[product]),
92             label='Prévisions 3 mois', marker='x', color='orange', linestyle='--', linewidth=2)
93
94     plt.title(f'Valeurs réelles vs Prévisions pour {product}')
95     plt.xlabel('Date')
96     plt.ylabel('Consommation')
97     plt.xticks(rotation=45)
98     plt.legend()
99     plt.grid(True, alpha=0.7)
100     plt.tight_layout()
101     plt.show()

```

FIGURE 0.41 – Code python du modèle LSTM

Les résultats de prévision avec le modèle LSTM :

Mois	P001	P002	P003	P004	P005	P006	P007	P008	P009	P010	P011
Jan 2026	97.37	95.78	802.29	126.28	238.19	201.06	305.35	153.92	264.42	193.87	191.43
Fév 2026	100.04	98.49	805.63	127.98	241.16	191.90	311.37	143.19	261.80	213.53	233.34
Mar 2026	97.29	93.51	801.73	125.32	226.96	206.55	306.15	154.76	263.46	194.73	240.75

Mois	P012	P013	P014	P015	P016	P017	P018	P019	P020	P021	P022	P023
Jan 2026	89.71	69.52	83.02	69.93	12.40	17.72	23.89	31.55	23.68	49.07	13.94	33.18
Fév 2026	93.66	73.86	85.47	92.11	12.74	21.23	22.92	30.54	25.99	50.14	13.06	31.95
Mar 2026	92.08	75.97	84.68	66.43	12.67	18.03	27.59	31.49	22.58	46.80	14.08	31.83

TABLE 0.47 – Prévision avec LSTM par produit

Les graphiques des valeurs réelles et prévision en utilisant le modèle LSTM :

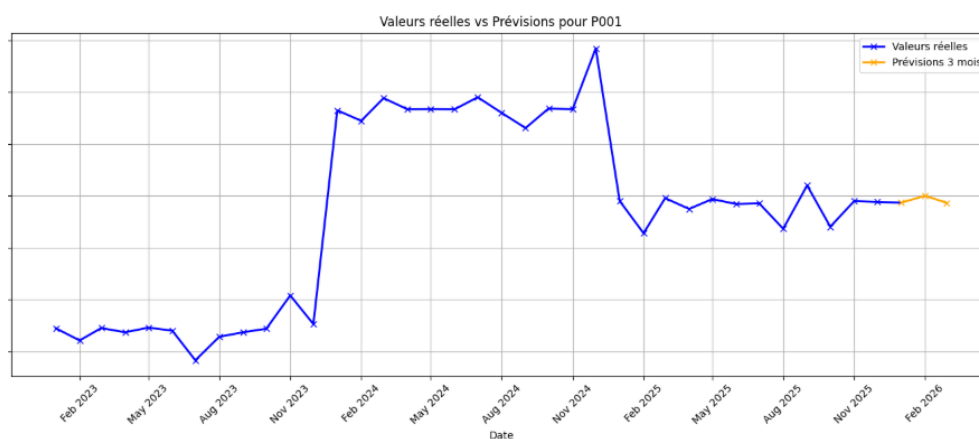


FIGURE 0.42 – Prévision LSTM et valeurs réelles P001

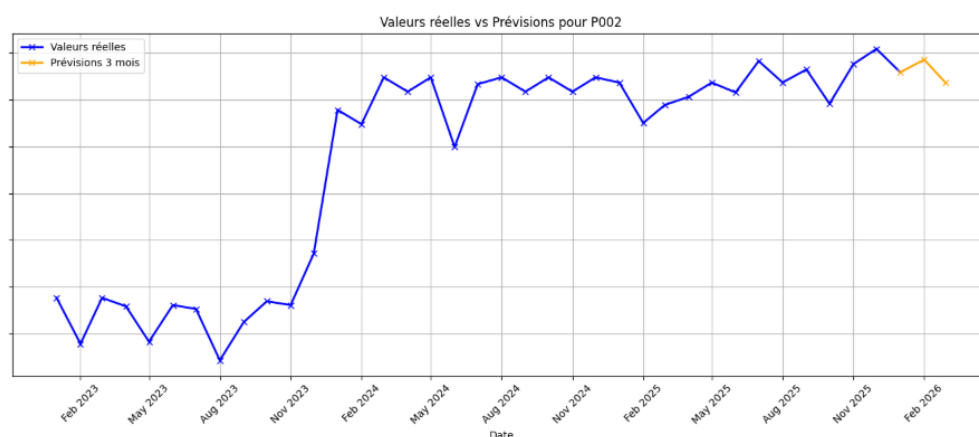


FIGURE 0.43 – Prévision LSTM et valeurs réelles P002

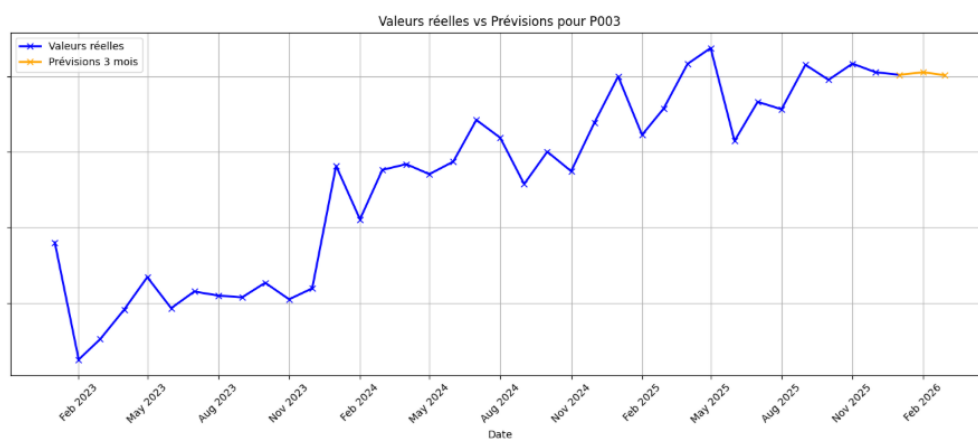


FIGURE 0.44 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P003

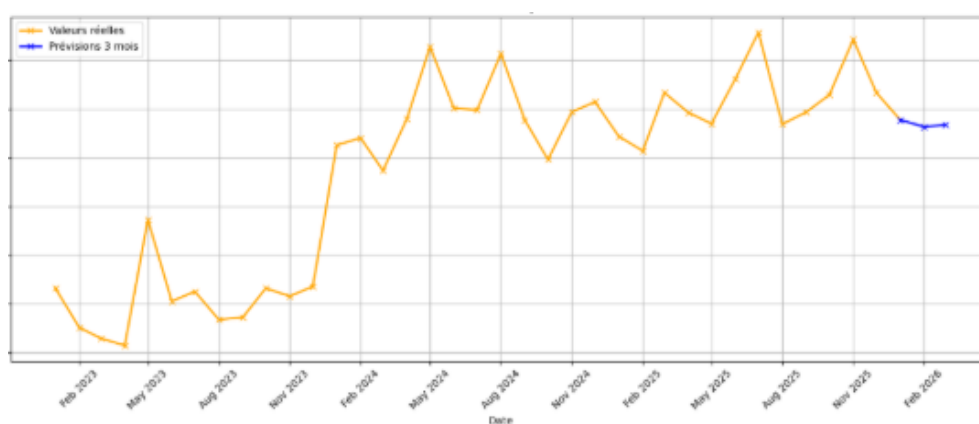


FIGURE 0.45 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P004



FIGURE 0.46 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P005

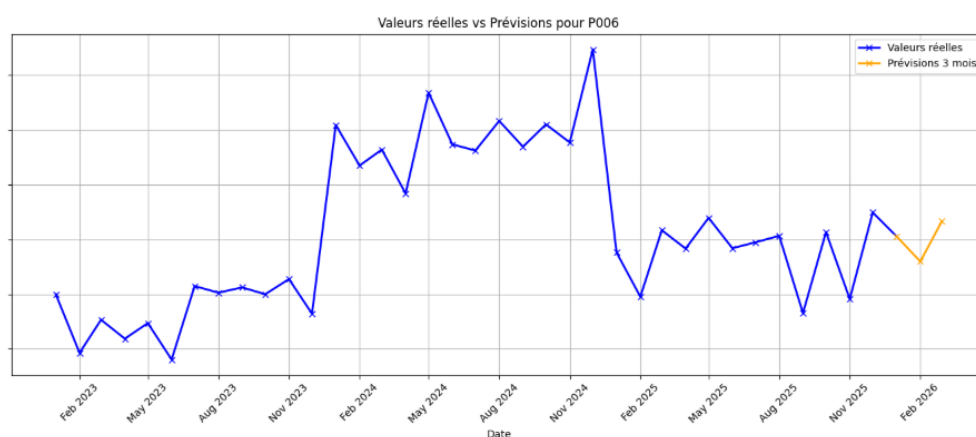


FIGURE 0.47 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P006

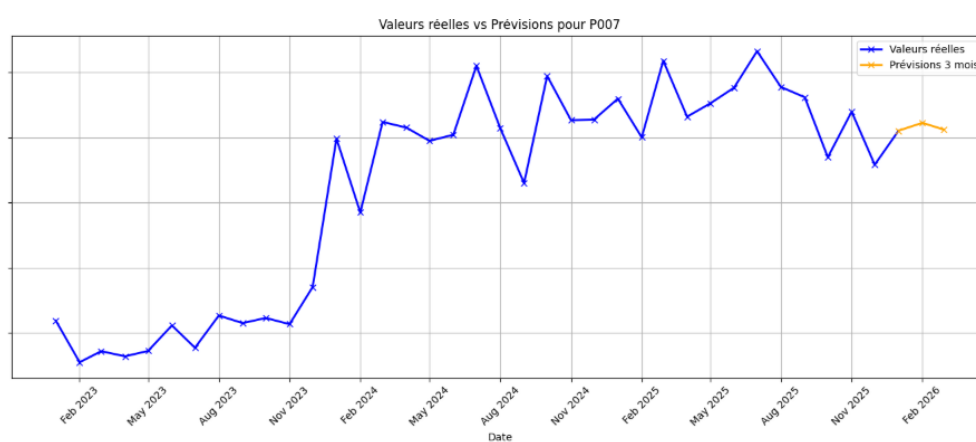


FIGURE 0.48 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P007

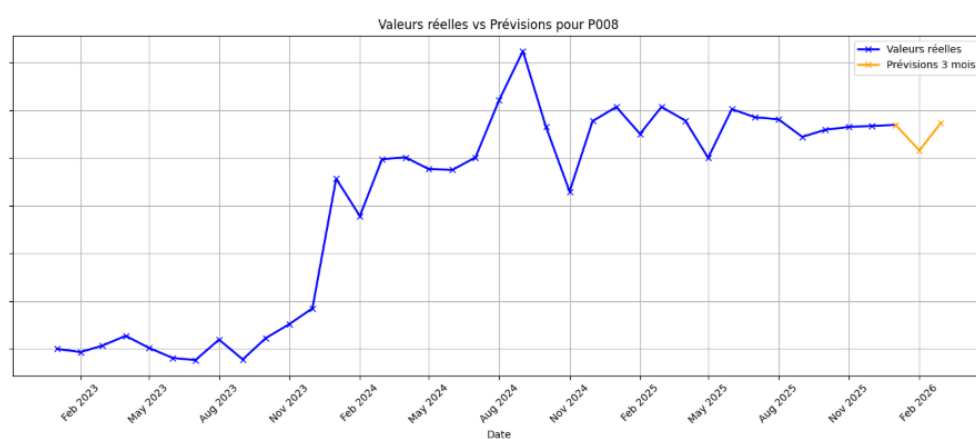


FIGURE 0.49 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P008

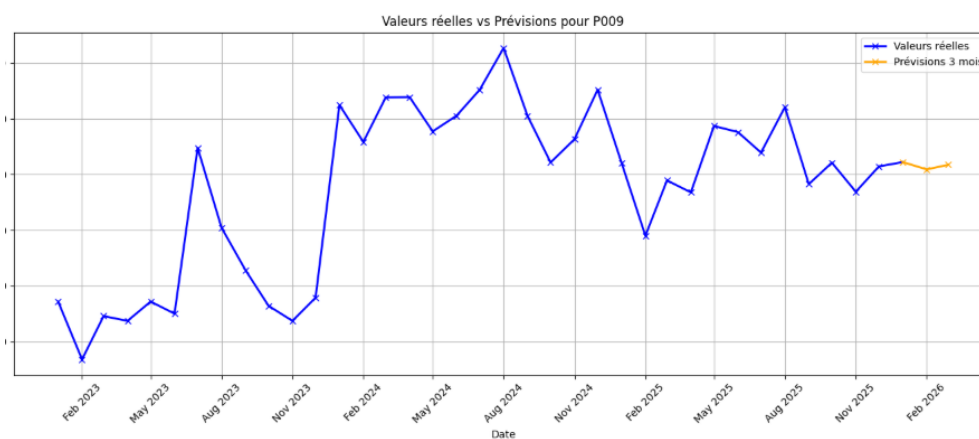


FIGURE 0.50 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P009

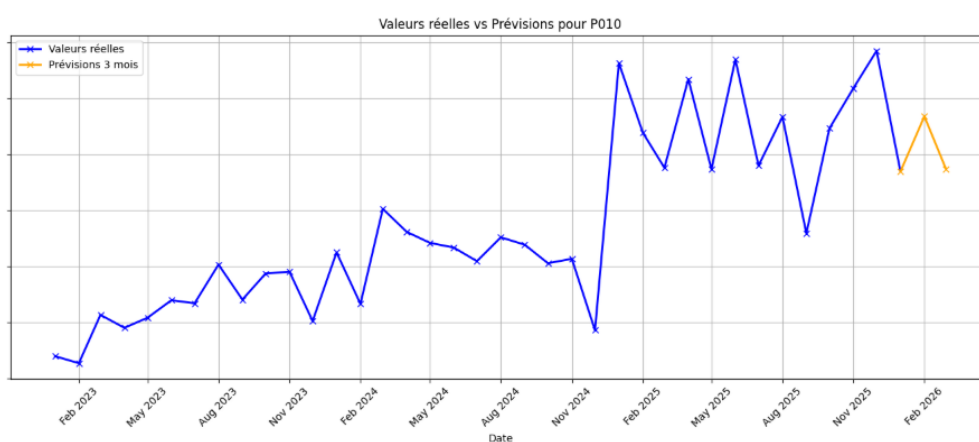


FIGURE 0.51 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P010

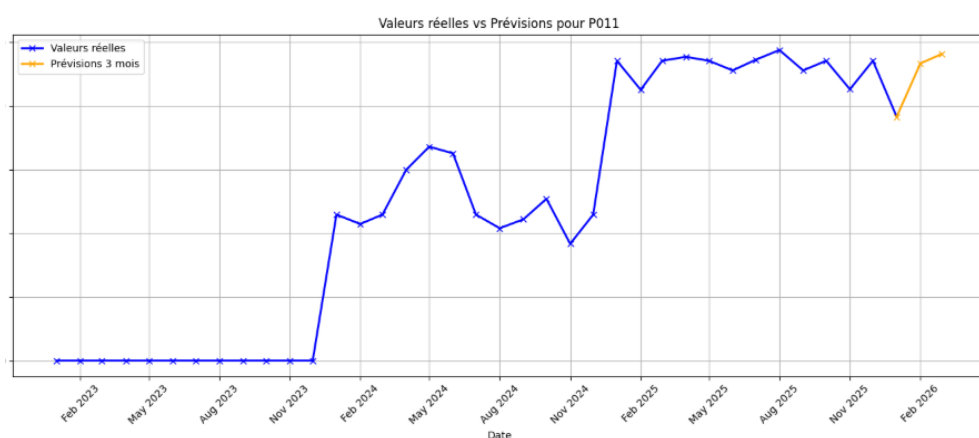


FIGURE 0.52 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P011

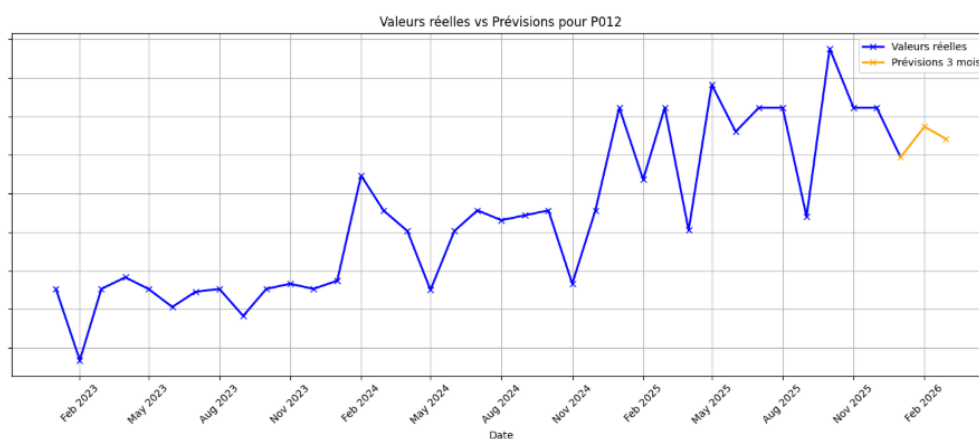


FIGURE 0.53 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P012

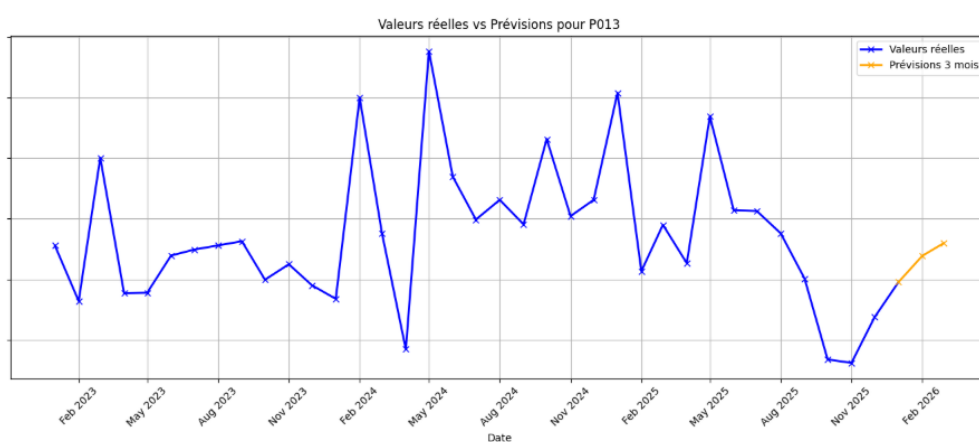


FIGURE 0.54 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P013

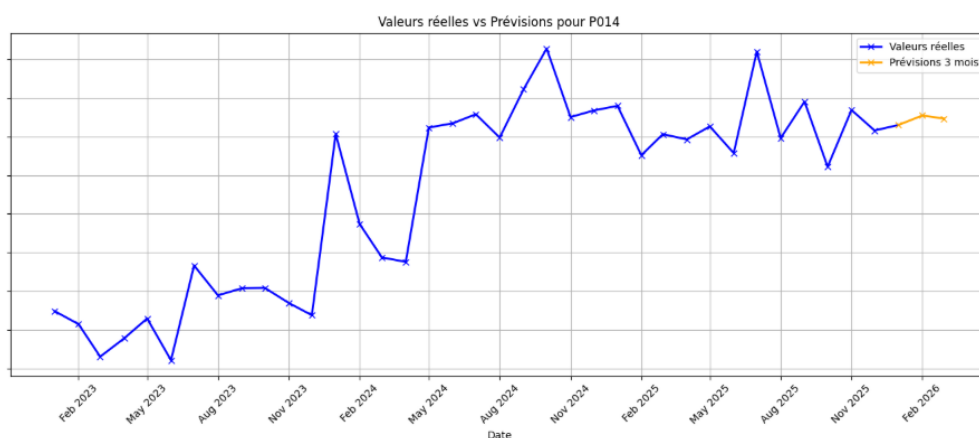


FIGURE 0.55 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P014

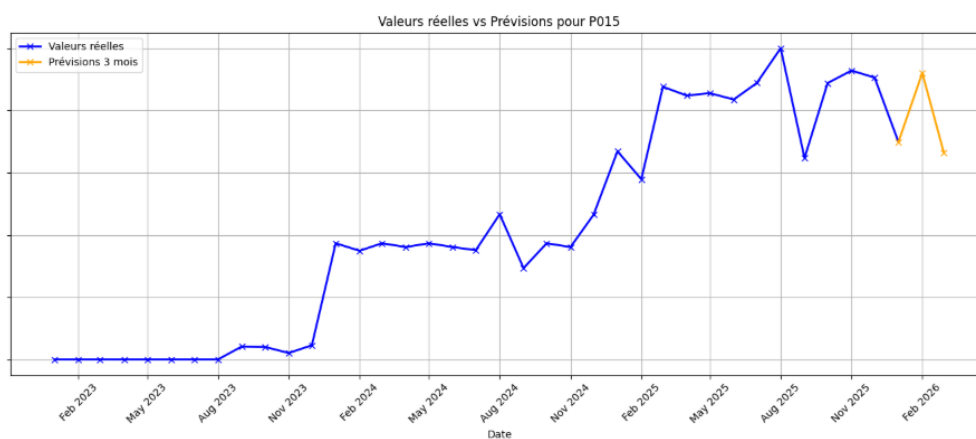


FIGURE 0.56 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P015

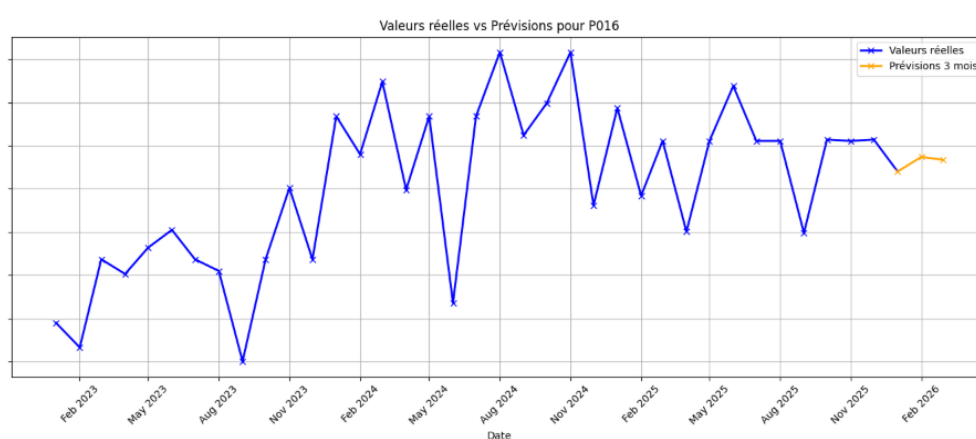


FIGURE 0.57 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P016



FIGURE 0.58 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P017

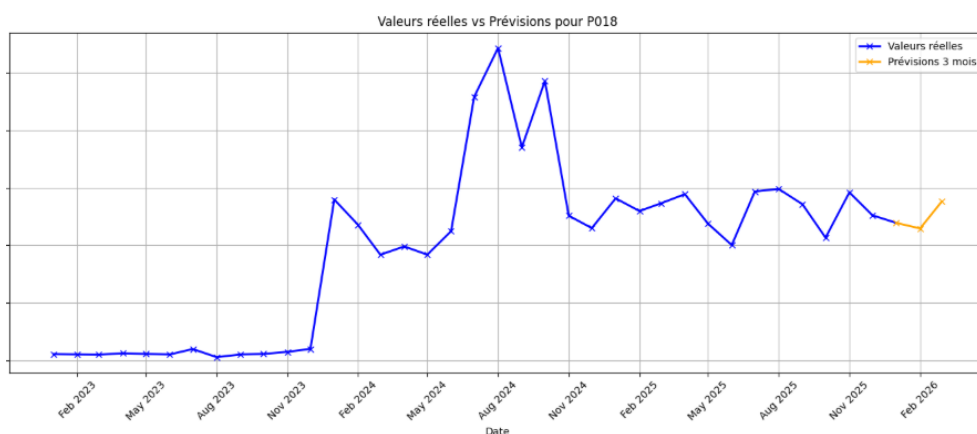


FIGURE 0.59 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P018

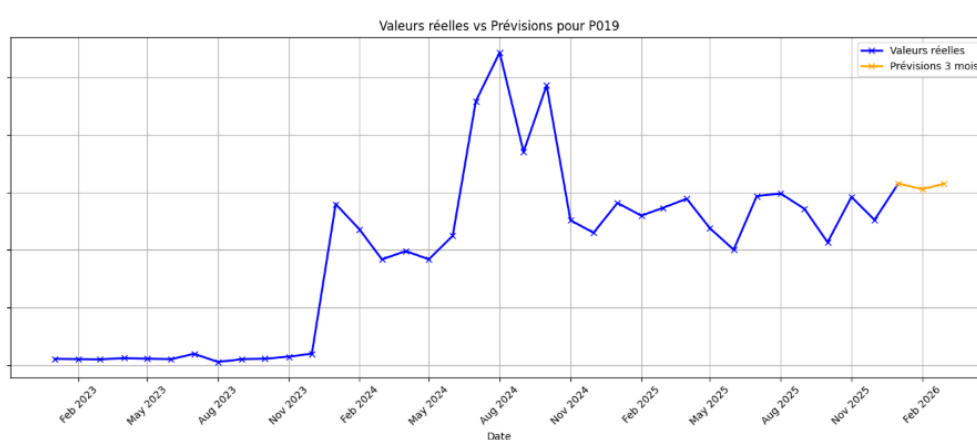


FIGURE 0.60 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P019

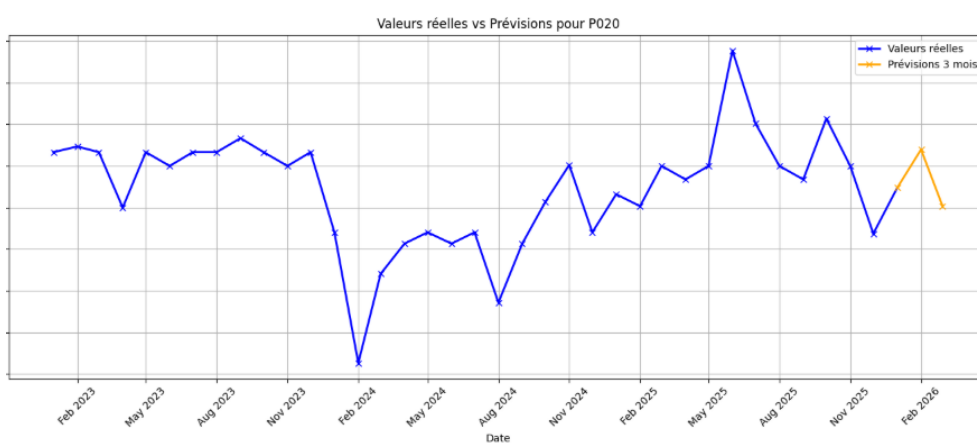


FIGURE 0.61 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P020

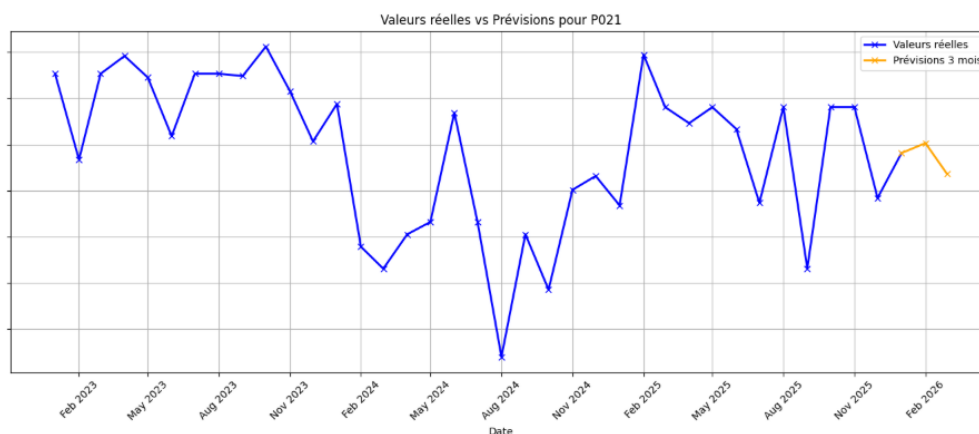


FIGURE 0.62 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P021



FIGURE 0.63 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P022



FIGURE 0.64 – Prédiction LSTM et valeurs réelles P023