

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Schlumberger

Département Génie Industriel

Option Management Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

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

Contribution à l'optimisation de la planification de la demande en pièces de rechange au sein de la division Well Construction

Application : Schlumberger NAF

Réalisé par

Manel YOUSFI

Yamina BAKHOUCHE

Sous la direction de

Mme. Sofia AIT BOUAZZA (ENP)

M.Noureddine HADDADI (SLB)

Présenté et soutenu publiquement le : 30/06/2022

Composition du Jury :

Président	M. Iskander ZOUAGHI	MCA	ENP
Examineur	Mme.Nadjwa BOUKADOUM	MAA	ENP
Promoteur	Mme.Sofia AIT BOUAZZA	MAA	ENP
Invité	M. Noureddine HADDADI	Import/Export Logistics	SLB

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Schlumberger

Département Génie Industriel

Option Management Industriel

Mémoire de projet de fin d'études

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

Contribution à l'optimisation de la planification de la demande en pièces de rechange au sein de la division Well Construction

Application : Schlumberger NAF

Réalisé par

Manel YOUSFI

Yamina BAKHOUCHE

Sous la direction de

Mme. Sofia AIT BOUAZZA (ENP)

M.Noureddine HADDADI (SLB)

Présenté et soutenu publiquement le : 30/06/2022

Composition du Jury :

Président	M. Iskander ZOUAGHI	MCA	ENP
Examineur	Mme.Nadjwa BOUKADOUM	MAA	ENP
Promoteur	Mme.Sofia AIT BOUAZZA	MAA	ENP
Invité	M. Noureddine HADDADI	Import/Export Logistics	SLB

Dédicaces

À la personne qui me porte pour pouvoir voir loin ma plus grande source d'inspiration à ta bonté sans limites ton amour inconditionnel, tes précieux conseils et ton délicieux couscous, mes mots ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi maman.

À celui à qui a toujours été derrière moi, qui n'as jamais refusé une de mes exigences, a ta tendresse et tes sacrifices merci de toujours me rappeler de manger mes fruits et désolé d'avoir gâché toutes tes grasses matinées papa.

À celle qui me nourrit, me supporte, m'épaule et partage sa garde-robe avec moi malgré elle, merci pour ton soutien et tes burgers.

À mon frère, merci de m'inspirer au quotidien et de me ramener saine et sauve à chaque fois.

À ma grande petite sœur, merci de faire partie de ma vie et de l'alimenter en sucreries.

À MA tante porteuse de bonne humeur, et à ces enfants et qui sont des frères pour moi, merci d'animer et d'embellir ma vie.

À ma source sure ma zone de confort ma famille, ma femme. Merci de toujours être là, de me comprendre et de me pousser vers le haut.

À ma 2e maman mon guide ma plus belle rencontre à la personne incroyable que tu es et as tous les moments qu'on a passé ensemble et ceux à venir. Merci Zineb d'être la douce voix qui berce mes pas.

À la meilleure des binôme merci pour ton calme, ton sérieux et ta bonté ya chaba.

À mes amis et ma 2e famille, merci Brahim d'avoir fait de Polytech un endroit stimulant intellectuellement, à la Beauté pour ton soutien et ta présence à toi Manela pour avoir supporté mes playlists et mes humeurs, un immense merci à toi et à Amina, merci au top 3 : Walid, Aymen le drôle et Mehdiel, et à vous mes amis indus Maya la belle, Manela, Souada, ma meilleure amie, le daron, le rose et toute cette promotion de futurs ingénieurs, je vous offre ce modeste travail en témoignage de ma gratitude

Manel YOUSFI

Dédicaces

À mon Dieu tout-puissant en qui j'ai une foi infinie, je vous remercie pour le courage, la volonté et la force que vous m'avez donné.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable maman.

Quoi que je fasse ou dise, je ne pourrai pas te remercier comme je le devrais. Ton affection me couvre, ta bonté me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher papa

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Tu me dois tous mes succès et mon bonheur. Que ce travail soit mon cadeau pour t'exprimer ma gratitude et mon affection.

A mes sœurs qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Elles m'ont chaleureusement soutenu et encouragé tout au long de mon parcours. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A ma famille, A ma grand-mère et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A mes proches et ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A toi ma belle binôme la reine de l'humeur.

A toi ma très chère Nadja, A toi Narimane, à tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A toi Carotte, merci de faire partie de ma vie.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

Yamina BAKHOUCHE

Remerciements

Qu'il nous soit permis de remercier et d'exprimer notre profonde gratitude en premier lieu à Dieu le tout-puissant de nous accorder sa bénédiction, de nous avoir donné de la force, de la volonté et de la patience pour mener à bien ce travail.

Grands mercis à nos très chers parents, nos frères et sœurs, nos familles qui ont rempli nos vies de joie, de motivation et d'amour, merci pour votre constant soutien et vos encouragements.

Notre reconnaissance se destine ensuite à **Mme Ait Bouazza** pour nous avoir encadrés et soutenu au long de notre projet, merci pour vos directives si précieuses, pour votre soutien et votre générosité.

Nous sommes reconnaissants envers toute l'équipe de SCHLUMBERGER pour leur chaleureux accueil et leur aide, plus précisément **M.Noureddine HADDADI**, pour son encadrement au sein de l'entreprise et son constant suivi tout au long de la réalisation de notre travail, merci pour l'intérêt que vous avez porté à notre projet et merci de nous avoir accompagné et assuré les meilleures conditions de travail.

Nos sincères remerciements vont également à **M.Iskander Zouaghi**, pour son aide et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire, mais également tout au long de notre parcours de génie industriel, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude.

Nous remercions également **Mme Nibouche** qui nous a permis de réaliser ce projet et qui nous a guidés au cours de sa réalisation.

Un immense merci à tous nos enseignants et à cette promotion de futurs ingénieurs en génie industriel avec qui on a partagé ces trois dernières années, et plus particulièrement à Anya pour ces notes et précieux résumés, merci de nous avoir fait détester tous les cookies non cuisinés par elle. Et Hynd pour avoir été la meilleure des déléguées.

Nous tenons en dernier lieu à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre projet, ainsi qu'aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Manel YOUSFI
Yamina BAKHOUCHE

ملخص

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في تحسين تخطيط الطلب على قطع الغيار داخل قسم تشييد الآبار في شعلى مستوى خط الأعمال: قياس بناء الآبار لمرجير شمال إفريقيا.

بدأ من خلال عرض تقديمي ثم تشخيص داخلي وخارجي للشركة مما جعل من الممكن تحديد الاحتياجات الحقيقية. يقدم هذا المشروع أداة لدعم القرار تضمن توافر قطع الغيار بناءً على نموذج رياضي متعدد الأهداف يعمل على تحسين التكلفة ومخاطر نقص المخزون. حل ديناميكي يتم تحديثه كل ربع سنة ، مرفق بلوحة معلومات تسمح بمراقبة الأهداف التي تحددها وظيفة إدارة المعدات والتحكم فيها.

يتيح هذا الحل اتخاذ قرارات أكثر فاعلية تلبي طلب السوق على أفضل وجه وترضي عملاء شلمبرجير الداخليين والخارجيين

الكلمات المفتاحية: سلسلة التوريد ، قطع الغيار ، التوافر ، التخطيط ، دعم القرار ، التنبؤ ، البرمجة الرياضية ، لوحات المعلومات.

Abstract

The objective of this work is to contribute to the optimization of spare parts demand planning within the Well Construction division at Schlumberger in the business line Well Construction Measurement North Africa.

It started with a presentation and then an internal and external diagnosis of the company to identify the real needs. This project proposes a decision support tool that ensures the availability of spare parts based on a multi-objective mathematical model that optimizes the cost and risk of stock outs. A dynamic solution that is updated every quarter, attached to a dashboard that allows the monitoring and control of the objectives defined by the material management function.

This solution allows for more efficient decision making that will best meet market demand and satisfy customers both internal and external to Schlumberger.

Keywords : Supply chain, Spare parts, Availability, Planning, Decision support, Forecasting, Mathematical programming, Dashboards.

Résumé

Ce travail a pour objectif de contribuer à l'optimisation de la planification de la demande en pièces de rechange au sein de la division Well Construction au niveau de la business line Well Construction Measurement chez Schlumberger North Africa.

Initié par une présentation puis à un diagnostic interne et externe de l'entreprise qui a permis de cerner les besoins réels. Ce projet propose un outil d'aide à la décision qui assure la disponibilité en pièces de rechange basé sur un modèle mathématique multi objectifs qui optimise le coût et les risque de rupture de stock. Une solution dynamique qui s'actualise à chaque trimestre, rattaché à un tableau de bord qui permet le suivi et le contrôle des objectifs définis par la fonction de matériel management.

Cette solution permet une prise de décision plus efficace, qui répondra au mieux à la demande du marché et satisfera les clients internes et externes à Schlumberger.

Mots clés : Supply chain, Pièces de rechange, Disponibilité, Planification, Aide à la décision, Prévision, Programmation Mathématique, Tableaux de bord.

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Liste des abréviations

Introduction générale	16
1 État des lieux	19
1.1 Présentation du marché parapétrolier	19
1.1.1 L'Industrie Parapétrolière dans le monde	19
1.1.2 L'industrie parapétrolière en Algérie	20
1.2 Présentation de Schlumberger. Ltd	20
1.2.1 Schlumberger. Ltd	20
1.2.2 Les activités de Schlumberger Ltd.	20
1.2.3 Structure hiérarchique de Schlumberger	21
1.2.4 Divisions Et Business Lines	21
1.2.5 Organisation de Schlumberger Ltd	22
1.3 Schlumberger North Africa (NAF)	23
1.4 Schlumberger Algérie	23
1.5 La Supply Chain de Schlumberger	24
1.5.1 La Fonction Material Management	25
1.5.2 Processus M&S Management and Distribution	28
1.5.3 Processus End-to-End (D-to-D) de Schlumberger	28
1.5.4 Maintenance au sein de Schlumberger	32
1.6 Audit Logistique	33
1.6.1 Diagnostic interne	33
1.6.2 Diagnostic externe	38
1.7 Présentation de la problématique	39
2 État de l'art	42
2.1 Vocabulaire relatif à la Supply Chain en Amont	42
2.1.1 La supply chain, Concepts et structure	42
2.1.2 La supply chain des pièces de rechange	44
2.2 Vocabulaire relatif à la maintenance	46
2.2.1 Définition et typologies de maintenance	46
2.2.2 Le concept de disponibilité	46
2.3 Principes Fondamentaux de la Préviation de la Demande	46
2.3.1 Méthode de prévision statistique	47
2.3.2 Prévisions basées sur le Machine learning	52
2.4 Problèmes de planification	54
2.4.1 Planification de la demande en pièces de rechange	54
2.4.2 Modèles de planification de la demande en pièces de rechange	55
2.4.3 Programmation linéaire	57
2.5 Suivi de la performance logistique	60
2.5.1 les indicateurs de performance	60
2.5.2 Définition et typologie des tableaux de bord	61

2.5.3	Méthodologies de construction d'un tableau de bord	61
2.5.4	Outils technologiques de visualisation de la performance	64
3	Résolution de la problématique	67
3.1	Etude prévisionnelle de la demande	67
3.1.1	Préparation des données	67
3.1.2	Classification ABC	68
3.1.3	Prévision par les méthodes statistique	71
3.1.4	Prévision basée sur le machine learning	75
3.1.5	Validation du modèle	77
3.2	Planification de la demande	78
3.2.1	Planification la demande par approche fondée sur le risque	78
3.2.2	Résolution du modèle mathématique	82
3.2.3	Etude comparative	86
3.2.4	Automatisation de la solution	89
3.3	Conception de l'outil de suivi et de contrôle de la performance	90
3.3.1	Choix de la démarche de construction du tableau de bord	90
3.3.2	Déroulement de la méthode GIMSI	90
3.3.3	Interface du tableau de bord	94
	Conclusion générale	98
	Bibliographie	99
4	Annexes	103

Liste des Tableaux

1.1	Répartition des GeoUnits de Schlumberger. Ltd à travers le monde	22
1.2	SCOR les 3 niveaux du processus de la planification	35
1.3	SCOR les 3 niveaux du Processus d'Approvisionnement	36
1.4	SCOR les 3 niveaux du Processus de Distribution	37
1.5	QOOQCP de la Problematique	39
2.1	Indicateurs de Fiabilité des prévisions	54
3.1	Quantités commandées en fonction des années (Fichier Gold Schlumberger HUB)	68
3.2	Quantités commandées en fonction des années améliorées	68
3.3	Classification ABC basée sur Volume	69
3.4	Classification ABC basée sur la fréquence de commande	70
3.5	Classification ABC Multicritères	70
3.6	Classification ABC Multicritères	71
3.7	Resultat de la Classification ABC	71
3.8	Prevision HWNS Jan2022-Mars2023	75
3.9	Prevision BJ Jan2022-Mars2023	75
3.10	Prevision Facebook Prophet Jan2022-Mars2023	77
3.11	Validation pas a pas Serie DEMPT 251	77
3.12	Moyenne MAPE pour toutes les series temporels	77
3.13	Variables et paramètres de base	79
3.14	Résultat de l'évolution du critère de CoS_i	83
3.15	Quantités optimales a commandé	86
3.16	Quantités commandées Jan 2022 TSC, du TRV et les contributions de chacun	87
3.17	Quantités commandées Jan 2022 TSC, du TRV et les contributions de chacun générées par le modèle mathématique	88
3.18	Gains totaux avant et après la mise en place du modèle mathématique	88
3.19	Indicateurs de performances principales sélectionnées	92
4.1	Carte d'identité de Schlumberger. Ltd	103
4.2	Somme pondérée, analyse multicritères (Choix du référentiel d'audit interne)	105
4.3	Grilles d'évaluation Métrique 1	106
4.4	Grilles d'évaluation bonnes pratiques 1	107
4.5	Grilles d'évaluation Métrique 2	108
4.6	Grilles d'évaluation bonnes pratiques 2	108
4.7	Grilles d'évaluation Métrique 3	109
4.8	Grilles d'évaluation bonnes pratiques 3	109
4.9	Grilles d'évaluation Métrique 4	110
4.10	Grilles d'évaluation bonnes pratiques 4	111
4.11	Grilles d'évaluation Métrique 5	112
4.12	Grilles d'évaluation bonnes pratiques 5	113
4.13	Grilles d'évaluation Métrique 6	114
4.14	Grilles d'évaluation bonnes pratiques 6	115
4.15	Resultatats des tests de Dickey Fuller	123
4.16	Prévisions par BJ des 5 prochains trimestres	123

4.17 Prévisions HWNS des 5 prochains trimestres	124
4.18 Prévisions Facebook Prophet des 5 prochains trimestres	127

Liste des Figures

1.1	Acteurs du Marché Parapétrolier dans le monde (Statistiques Wikipédia)	19
1.2	Acteurs du marché parapétrolier en Algérie (Statistiques HESP “https://hesp.com”)	20
1.3	Structure hiérarchique de Schlumberger	21
1.4	Schlumberger North Africa Map	23
1.5	Structure hiérarchique de la GeoUnit (NAF)	23
1.6	Siège social et bases de Schlumberger Algérie	24
1.7	Metro map SC Schlumberger(Management Handbook _{JobsProductsServicesR20.4.pdf})	25
1.8	Organisation du Material Management	26
1.9	Organigramme Material Management	26
1.10	Demande des différents types de produits M&S	27
1.11	Metro Map - Processus M&S management distribution (Products Services - Jobs/Schlumberger HUB)	28
1.12	Processus End to End de Schlumberger (Schlumberger HUB)	28
1.13	Cartographie du processus d’expression du besoin et d’approvisionnement (Schlumberger HUB)	29
1.14	Les LEG composant de END To END Process (Schlumberger HUB)	30
1.15	Cartographie du niveau 1 pour LEG1 et LEG2	31
1.16	Cartographie du niveau 1 pour LEG3 et LEG4	31
1.17	Ports d’entrée utilisés par Schlumberger pour le dédouanement au niveau de l’Algérie	32
1.18	SCOR Cartographie du niveau 1 : Processus globale	34
1.19	SCOR Cartographie du niveau 2 : Processus Planification	34
1.20	SCOR Cartographie du niveau 2 : Processus d’Approvisionnement (Sourcing)	35
1.21	SCOR Cartographie du niveau 2 : Processus de Distribution	36
2.1	Types de chaîne logistique (Mentzer et al (2001))	43
2.2	Les flux de la chaîne logistique	43
2.3	La chaîne logistique de pièces de rechange générique	45
2.4	Différents types d’approches quantitatives de prévision	48
2.5	Étape de prévision avec Méthodes auto-projectives	48
2.6	Stratégie du Test de Dickey-Fuller	51
2.7	Methodologie de box-jenkins	52
2.8	Etapas de la prévision machine learning	53
2.9	Facebook Prophet logo	53
2.10	Processus de défaillance et de réparation	56
2.11	Interface Excel VBA (Screenshot)	60
2.12	Les critères des objectifs SMART	60
2.13	les trois types de tableau de bord et décision (La pyramide d’Ansoff)	61
2.14	Etape de La méthode OVAR	62
2.15	Les 4 Phase de la méthode GIMSI	62
2.16	Méthode GIMSI Etapes de la Phase 1	63
2.17	Méthode GIMSI Etapes de la Phase 2	63
2.18	Méthode GIMSI Etapes de la Phase 3	64
2.19	Méthode GIMSI Etapes de la Phase 4	64
2.20	Outils de Visualisation de la Performances (Logos)	65
3.1	Commandes des Materiel Group : DECTDI07, DECTLS06, DEMPT251, DEDPDP06, DEMPT244 et SEMRGM02, par trimestre (2017-2021)	72

3.2	Corrélogramme de la serie DEMPT 251 (Eviews)	72
3.3	Le résultat du F -test Serie DEMPT 251	73
3.4	Test DF Modele [6] Serie DEMPT 251	73
3.5	Test DF Modele [5] Serie DEMPT 251	74
3.6	Test DF Modele [4] Serie DEMPT 251	74
3.7	Serie DEMPT 251 : Automatic ARIMA Forecasting (Eviews)	75
3.8	Prophet Forecasting Serie DEMPT 251 (Screenshot Google colab)	76
3.9	Prevision HWNS trimestrielle Jan 2022-Mars2023 (Power BI)	78
3.10	Résolution du modèle mathématique - Données(Screen Excel)	84
3.11	Résolution du modèle mathématique - Paramètres(Screen Excel)	84
3.12	Résolution du modèle mathématique - Préparation des données (Screen Excel)	85
3.13	Résolution du modèle mathématique - Solveur (Screen Excel)	85
3.14	Résolution du modèle mathématique - Résultat (Screen Excel)	86
3.15	Préparation de la Serie temporelle VBA (Screenshot Excel)	89
3.16	Interface de l'application VBA (Screenshot Excel)	90
3.17	Interface du tableau de bord(ScreenShot PowerBI)	92
3.18	Interface du tableau de bord(ScreenShot PowerBI)	95
4.1	Divisions Business Lines de Schlumberger. slb(Schlumberger HUB)	104
4.2	Caractéristiques des référentiel d'audit interne (Source : Imade DBICH, "AUDIT DES PERFORMANCES LOGISTIQUES", Stage de fin d'études au sein de la société AFRIC -PHAR, Maroc 2018)	105
4.3	Schlumberger Matrice SWOT	116
4.4	Tableau synthese methode statistique Quantitatives (Source : Fethia CHABANE, Abdelmoumene CHETTAB, "Contribution à l'amélioration de la Supply Chain amont pour l'approvisionnement en gasoil." Mémoire de projet de fin d'études, ENP 2020)	117
4.5	Code du Guide Facebook Prophet Code Source : facebook.github.io	118
4.6	H.1 : Résolution PL Étape 1	119
4.7	H.2 : Résolution PL Étape 2	119
4.8	H.3 : Résolution PL Étape 3	120
4.9	H.4 : Résolution PL Étape 4	120
4.10	H.4 : Résolution PL Étape 4	121
4.11	H.4 : Résolution PL Étape 4	121
4.12	H.4 : Résolution PL Étape 4	121
4.13	Corr elogrammes des series temporelles (Screen Eviews)	122
4.14	Code Facebook Prophet ScreenShot (Googlecolab)	126

Liste des abréviations

AMDEC	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités
AR	Auto Regression
ASL	Approved Suppliers List
BI	Business Intelligence
BJ	Box Jenkins
BL	Business Line
BP	British Petroleum
BOH	Bad on Hand
COPS	Compagnie d'opérations Pétrolières Schlumberger
CEO	Chief Executive Officer
CFO	Chief Financial Officer
DI	Digital & Integration
DO	Delivery Order
DO	Delivery Order Consolidation
DSC	Distribution Service Center
DS	Differency Stationary
EQO	Economic Quantity to Order
ELT	Emergency Lateral Transshipments
E&P	Exploration & Production
FO	Fonction objectif
GIMSI	Généralisation, Information, Méthode et Mesure, Système et Systémique, Individuel et Initiative
Gold	Global Oilfield Logistics and Distribution
GOM	GeoMarket Operations Manager
GM	GeoMarket.
HAZOP	HAZard and OPerability analysis
HQ	Headquarters
HSE	Health, Safety, and Environment
HLS	HUB Logistics specialist
HW	Holt Winters
HWNS	Holt Winters Non Saisonnière

IT	Information Technology
KPI	Key Performance Indicator
MDT	Mean Down Time
METRIC	Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control
MG	Material Group
MM	Material Management
ML	Machine Learning
M&D	Management & Distribution
M&S	Materials & supplies
MMD	Moyenne Mobile Double.
MRP	Material Resource Planning
MP	Material Part
NAF	North Africa.
OP	Operational Planning
OS	Operations System
P&S	Procurement & Sourcing
PLT	Preventive Lateral Transshipments
PO	Purchase Order
POS	Purchase Order Supplier
PSD	Product and Service Delivery
RDC	Regional Distribution Center
RP	Reservoir Performance
S&C	Sales & Commercial.
SA	Société Anonyme.
SC	Supply Chain.
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SDT	Supplier Delivery Time
SLB	Schlumberger
SPS	Service pétrolier Schlumberger
SRM	Supplier Relationship Management
SWPS	Schlumberger Web Procurement System
T&D	Training & Development
TDB	Tableau de bord
TLM	Technology Lifecycle Management
TMO	Track my order
TS	Trend Stationary
TSC	Total Sourcing Cost
TRV	Total Risk Value
VBA	Visual Basic for application
WCM	Well Construction Measurement

VP	Vice President
WC	Well Construction
WSV	Well Services

Introduction générale

Introduction générale

La maintenance est la remise en état d'un équipement que ce soit la réparation d'une panne, selon un planning prévisionnel, ou un paramètre conditionné. L'application de la maintenance engendre des consommations de pièces de rechange. Les activités de remplacement et de réapprovisionnement des pièces de rechange, requièrent des délais qui peuvent s'échelonner à des durées pouvant affecter la performance de l'organisation. L'indicateur clé de performance du processus de maintenance est la disponibilité caractérisée par la possibilité de l'équipement de remplir la mission ou la fonction pour laquelle il a été conçu, excluant les temps d'arrêt, temps de panne, et temps d'intervention. Cette dernière est fortement liée aux ressources de l'entreprise : budget, outillage, savoir-faire des opérateurs, et à la relation de l'entreprise avec son environnement (fournisseurs, plateformes logistiques, alliances stratégiques, etc).

En raison de la mondialisation de l'industrie et la nécessité vitale de disposer des bonnes pièces de rechange au bon moment et en justes quantités, les sociétés opérant dans le secteur parapétrolier, notamment Le leader mondial Schlumberger, visent à maximiser la disponibilité et recherchent des solutions de planification avancées et uniques, permettant de générer un impact positif sur leurs performances opérationnelles et financières.

Dans un contexte où Schlumberger Algérie vise à satisfaire sa demande en pièces de rechange appelés MS et assurer leur disponibilité, Nous avons opté, dans le cadre de notre projet, pour le développement d'un système de planification de la demande comme contribution à l'amélioration du processus de planification des pièces de rechange, au sein de la division Well Construction et au niveau de la business line Well Construction Measurement (WCM) de Schlumberger Algeria.

Dans une première partie, nous avons commencé par réaliser un audit interne et externe sur les processus amont de Schlumberger en identifiant les goulots d'étranglement détectés dans les différents processus grâce à un référentiel logistique approprié à la nature et la taille de son organisme. A partir de là, nous avons identifié les différents dysfonctionnements que rencontre Schlumberger, pour mieux comprendre le besoin de l'entreprise. Ce dernier s'est traduit par la question suivante :

Quel serait le bon moyen pour planifier la demande et optimiser le processus de planification des M&S ?

Pour répondre à cette question, nous avons procédé par une étude prévisionnelle sur le plan opérationnel pour anticiper et contrôler les fluctuations de la demande et avoir une meilleure visibilité sur son rythme.

Cette étude a été réalisée sur un ensemble de pièces considérées comme importantes par les résultats de la classification ABC bi- critères (la fréquence de commande et le volume de la quantité commandée pour ces pièces); pour ensuite pouvoir concevoir un modèle mathématique présentant l'outil opérationnel d'aide à la décision capable d'assurer la disponibilité des pièces de rechange à travers la détermination de la bonne quantité à commander, tout en minimisant les coûts associés et les risques générés par la non satisfaction de la demande.

Afin de mener à bien cette mission, le présent travail est réparti sur trois chapitres. Le premier à pour objectif de présenter le marché parapétrolier, faire connaître l'entreprise et son environnement interne et externe, et introduire ses processus, notamment le processus global ainsi que la démarche de l'audit.

Le second chapitre explique l'état de l'art en explicitant les concepts et définitions théoriques qui aideront à concevoir notre solution, d'éclaircir les modèles de prévisions et les outils numériques et informatiques qui contribuent à sa réalisation. Le troisième et dernier chapitre est consacré au développement et à la mise en œuvre des prévisions de la demande en M&S, ainsi que la conception et l'exécution de l'outil décisionnel tenant compte des contraintes liées au réel besoin.

Pour finir, nous avons effectué une étude comparative par une simulation d'avant et après l'exécution de cet outil décisionnel, sur une période de demande déjà enregistrée afin de mesurer la performance de l'outil.

Enfin, ce travail est accompagné par une mise en place d'un tableau de bord pour un suivi de performance opérationnel et périodique.

Chapitre 01

État des lieux

Chapter 1

État des lieux

Dans ce tout premier chapitre divisé en quatre principales parties, nous allons réaliser une étude de l'état des lieux pour comprendre au mieux l'environnement de l'entreprise et cerner la problématique à travers un diagnostic.

En premier lieu, nous allons introduire l'entreprise d'accueil Schlumberger Ltd et découvrir de près l'industrie dans laquelle elle évolue, ses activités, ses valeurs et son organisation à travers le monde et en Algérie. Ensuite, nous aborderons la chaîne logistique de l'entreprise, son processus global et plus particulièrement la fonction de Material Management, l'activité-clé de notre étude, ainsi qu'une de ses fonctions de maintenance. La troisième partie concernera la méthode d'audit et son déploiement au niveau de la business line WCM, dans le but d'établir un diagnostic de sa chaîne logistique et notamment de son processus de planification, d'approvisionnement et de distribution en pièces de rechange. Enfin, nous ferons une synthèse des différents dysfonctionnements détectés afin de pouvoir présenter dans la dernière partie la problématique de notre projet qui traduira le réel besoin.

1.1 Présentation du marché parapétrolier

1.1.1 L'Industrie Parapétrolière dans le monde

Depuis le contre-choc pétrolier de 1986, de nombreuses entreprises parapétrolières ont eu recours à une politique de croissance externe afin de se renforcer sur leurs activités de base, d'élargir la gamme des services fournis ou encore de modifier intégralement leurs activités. Ces entreprises réalisent, pour le compte des compagnies pétrolières et gazières, les travaux de conception et de construction nécessaires à l'exploitation des gisements d'hydrocarbures. Elles exercent des activités très diverses, allant de la réalisation d'études sismiques à la construction d'unités de raffinage, en passant par la conception d'équipements et d'outils de forage. Elles participent au forage de puits, ainsi qu'à la conception et à la construction de plateformes. Elles fournissent également aux compagnies pétrolières le personnel et les équipements que ces dernières ne possèdent pas.

L'industrie des services pétroliers peut être assimilée à un oligopole composé de trois leaders bien connus illustrés comme suit : (Figure 1.1)

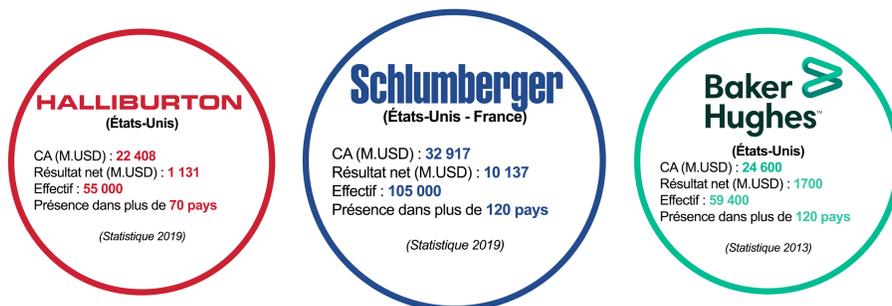


Figure 1.1: Acteurs du Marché Parapétrolier dans le monde (Statistiques Wikipédia)

1.1.2 L'industrie parapétrolière en Algérie

L'Algérie, était classée 4ème producteur de pétrole en Afrique pour l'année 2021, avec une production moyenne de 969 mille barils par jour ; plusieurs activités liées à cette production parmi lesquelles : l'exploration, l'extraction, le raffinage, le transport ou la commercialisation du pétrole, du gaz, des sables pétrolifères ou d'autres hydrocarbures, sont assurées par plusieurs sociétés parapétrolières qui offrent une gamme complète de services pour soutenir et optimiser ces activités.

Les principales compagnies parapétrolières du marché algérien, sont illustrées sur la figure suivante : (*Figure 1.2*)



Figure 1.2: Acteurs du marché parapétrolier en Algérie (Statistiques HESP “<https://hesp.com>”)

1.2 Présentation de Schlumberger. Ltd

1.2.1 Schlumberger. Ltd

Schlumberger Limited est une multinationale franco-américaine, leader mondial de services et équipements pétroliers. Elle fut fondée en France, sous le nom de Société de Prospection Électrique par les deux frères, Conrad et Marcel Schlumberger, grâce à leurs idées innovantes pour détecter différents types de roches par conductivité électrique.

L'entreprise intervient tout le long des différents processus d'exploration et d'exploitation, de la découverte et la prospection jusqu'à la fin de vie du puits, en passant par le forage. Sa principale mission est de fournir des technologies, des solutions informatiques et des services de gestion intégrés de projets pour les industries pétrolières et gazières de par le monde.

Le tableau (*Annexe A*) résume les principales informations de l'entreprise.

Présente dans plus de 120 pays regroupant 170 nationalités, elle maintient sa position sur le marché de par sa stratégie et valeur qui guide ces décisions : le profit, la ressource humaine et la technologie, réinvestissant ses profits dans la Recherche et Développement pour assurer son avantage concurrentiel.[1]

1.2.2 Les activités de Schlumberger Ltd.

Schlumberger comprend quatre principaux groupes d'activités qui couvrent toute la durée de vie d'un réservoir. Chaque groupe comporte des segments ou des Product Line (PL) qui, à leur tour, se composent de sous-segments, et ces premiers sont :

- **Reservoir Characterization Group** (Groupe de caractérisation du réservoir) : Premier intervenant, il définit les caractéristiques des gisements pétroliers lors de la découverte et la prospection des sites potentiellement favorables.
- **Reservoir Drilling Group** (Groupe de forage de réservoirs) : Il offre les principales technologies de mise en œuvre du forage des puits de pétrole ou de gaz, comme les Geoservices, PathFinder, outils de forage et reconditionnement... Etc.
- **Reservoir Production Group** (Groupe de production de réservoirs) : Il intervient après le forage, et offre les technologies nécessaires à la production des réservoirs tout au long de leur cycle de vie.
- **Cameron** : Spécialisé dans la fabrication d'équipements de contrôle de pression dans le secteur.

1.2.3 Structure hiérarchique de Schlumberger

Après une revue de sa structure hiérarchique en 2020, Schlumberger a à présent un CEO qui coordonne les activités de la Leadership Team et des Corporate Functions.

La Leadership Team est constituée des managers de cinq entités qui sont : Performance Management, Technology, Services Equipment, Geographies et New Energy.

Les Corporate Functions quant à elles représentent les six fonctions supports suivantes : Finance, Legal, HR, HSE, Strategy and Sustainability et Sales Commercial.

L'ensemble de la structure est représenté sur la figure suivante : (Figure 1.3)

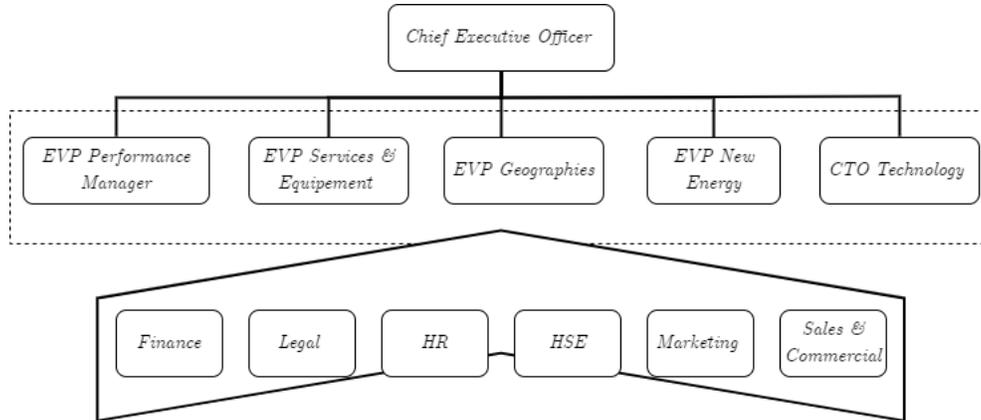


Figure 1.3: Structure hiérarchique de Schlumberger

1.2.4 Divisions Et Business Lines

Afin d'améliorer son portefeuille et d'aligner le flux de travail des clients avec les fonctionnalités de l'entreprise, SLB s'est organisée en quatre divisions regroupant plusieurs Business Lines.

- **Digital Integration** Cette division englobe les technologies et les processus de digitalisation et d'intégration de données pour améliorer les performances de l'entreprise. Elle a un potentiel d'évolution très élevé en raison de la transformation digitale que connaît l'industrie.

Elle regroupe cinq BL citées dans *Annexe B*

- **Reservoir Performance** Axée sur les réservoirs, cette division veille à optimiser leur performance et productivité grâce à divers services et technologies. Elle bénéficie de la croissance des initiatives d'exploration de proximité, de l'amélioration de la récupération des puits étroits ou matures et du réaménagement des friches industrielles.

Elle regroupe trois BL citées dans *Annexe B*

- **Production Systems** Elle veille à l'intégration totale du système, de l'interface réservoir puits à mi-chemin. Cette division assure également l'innovation en prévision des progrès technologiques significatifs dans les achevements, l'ascenseur artificiel, l'équipement de surface, le traitement et le sous-marin. Elle regroupe quatre BL citées dans *Annexe B*

- **Well Construction** La division Well Construction (WC) se charge de maximiser l'efficacité du forage et le contact avec le réservoir en combinant différentes gammes de produits et de services.

Cette division, en plus d'optimiser les rendements des actifs clients, bénéficie d'une exposition au marché et compte sur une approche holistique qui a pour but la décarbonisation de la construction de puits.

Elle regroupe quatre Business Lines illustrées dans la figure *Annexe B* et elle a pour principales activités :

- Drilling Measurements : Fournit en plus d'un soutien technique, des services de diagraphie et de mesure de forage pour tous les profils de puits.

- Drill Bits : Fournit des systèmes de fluides de forage conçus individuellement qui améliorent les performances et maintiennent le contrôle et la stabilité du puits.
- Drilling Tools : Conçoit, fabrique et commercialise des trépan à cône et à coupe fixe pour tous les environnements de forage.
- Well Cementing : Fournit des produits et des services qui sécurisent et protègent les tubages de puits tout en isolant les zones de fluide et en maximisant l'activité du puits.
- Integrated Well Construction : Fournit des solutions intégrées pour construire ou modifier l'architecture des puits, y compris la planification, le forage, l'ingénierie, la supervision, la logistique, l'approvisionnement et la gestion des appareils de forage.
- Rigs and Equipment : Fournit des équipements et des services de forage.

1.2.5 Organisation de Schlumberger Ltd

En 2020, Schlumberger Ltd a connu une restructuration majeure adoptant une organisation plus simplifiée et plus réactive qui continue à prioriser ses clients.

Structurée autrefois en deux hémisphères : **Eastern** et **Western** Hemisphere, la nouvelle organisation se compose de cinq Bassins et de 30 Geo Units comme le montrent le tableau suivant : (Table 1.1)

Table 1.1: Répartition des GeoUnits de Schlumberger. Ltd à travers le monde

Bassins	Americas Land	Offshore Atlantic	Russia and Central Asia	Asia	Middle East and North Africa
Capitale	Houston	London	Moscow	Kuala Lumpur	Dubai
Geo Units	Canada	Land Angola, Central And East Africa	Russia Land	East Asia	North Africa
	US Land	Brazil	Arctic And South Offshore	India	Egypt, Sudan and East Mediteranean
	Ecuador, Colombia And Peru	Europe	Azerbaijan And Turkménistan	Australia, New Zealand And Papua New Guinea	Iraq
	Argentina, Bolivia And Chile	Guyana, Trinidad And Caribbean	Kazakhstan	Indonesia	Kuwait
	Mexico And Central	America	Sakhalin	China	Saudi And Bahrain
		America Offshore			Qatar
		Nigeria And West Africa			Emirates
		Scandinavia			Oman, Yémen et Pakistan

1.3 Schlumberger North Africa (NAF)

Depuis 1950, Schlumberger fait son entrée en Afrique. Elle se présente actuellement dans le nord-africain sous le nom de North Africa Geo Unit et regroupe cinq pays du nord-africain : l'Algérie, la Tunisie, le Maroc, la Libye et le Tchad. (Figure 1.4)



Figure 1.4: Schlumberger North Africa Map

Sa structure hiérarchique se compose du manager de la GeoUnit qui assure la coordination des activités des managers des pays les plus importants, dont l'Algérie, la Libye et le Tchad, ainsi que des managers des fonctions de soutien : Sales Marketing, Supply Chain (SC), Human resources (HR), Health Safety and Environment (HSE), Finance et Legal.

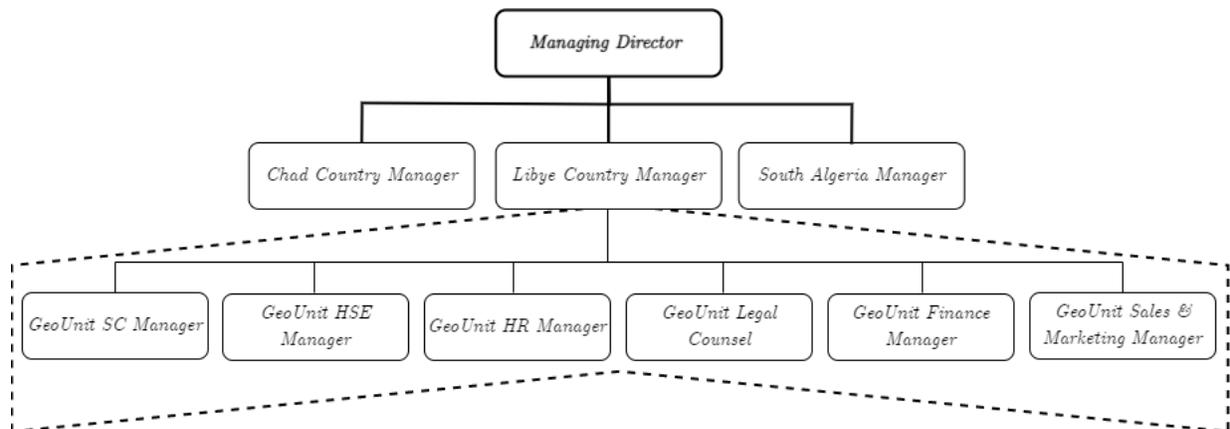


Figure 1.5: Structure hiérarchique de la GeoUnit (NAF)

1.4 Schlumberger Algérie

Schlumberger est arrivé en Algérie en 1955, elle a constitué, selon l'organisation énoncée par la New Way of Working (NWW), "Schlumberger North Africa Geomarket (NAF)". Depuis, elle opère sous deux entités juridiques "Service pétrolier Schlumberger (SPS)" et "Compagnie d'opérations Pétrolières Schlumberger (COPS)".

Schlumberger Algérie représente le marché clé dans la région nord-africaine avec une contribution de plus de 60% de son chiffre d'affaires.

Actuellement, son siège social est situé à Alger, dans la zone d'activité Amara de Cheraga, sur la route Ouled-Fayet. Quant à ces départements opérationnels, ils sont répartis dans le sud du pays comme montré sur la figure : (Figure 1.6)

Ceci afin d'être au plus près de ses clients : SONATRACH, British Petroleum (BP), AGIP, ANADARKO, TOTAL et le ministère algérien de l'Énergie et des Mines.

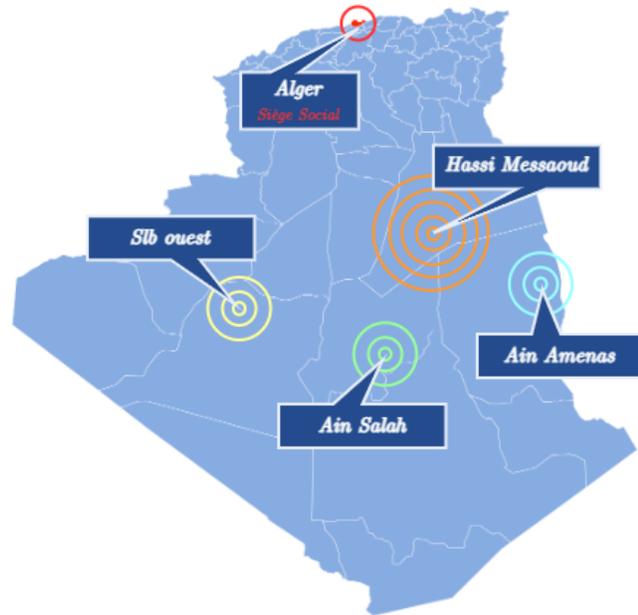


Figure 1.6: Siège social et bases de Schlumberger Algérie

1.5 La Supply Chain de Schlumberger

L'un des éléments majeurs de Schlumberger est sa chaîne d'approvisionnement. La chaîne d'approvisionnement est gérée par l'entité Planning Supply Chain (PSC), qui est principalement responsable de la gestion et de la coordination des fonctions de soutien, de finances et de ressources humaines communes aux différents segments, en plus des fonctions Opérations informatiques, Gestion des contrats, Ressources générales et construction, Distribution mondiale, Achats et Chaîne d'approvisionnement.

En ce qui concerne la chaîne d'approvisionnement, elle répond aux besoins des segments opérationnels en matériaux, et est responsable du suivi et de la coordination de tous les éléments suivants : flux physiques, financiers et informationnels, y compris toutes les activités en amont et en aval de la prestation de services, c'est-à-dire le réapprovisionnement et le transport des matières premières et des équipements nécessaires à la prestation de services aux clients.

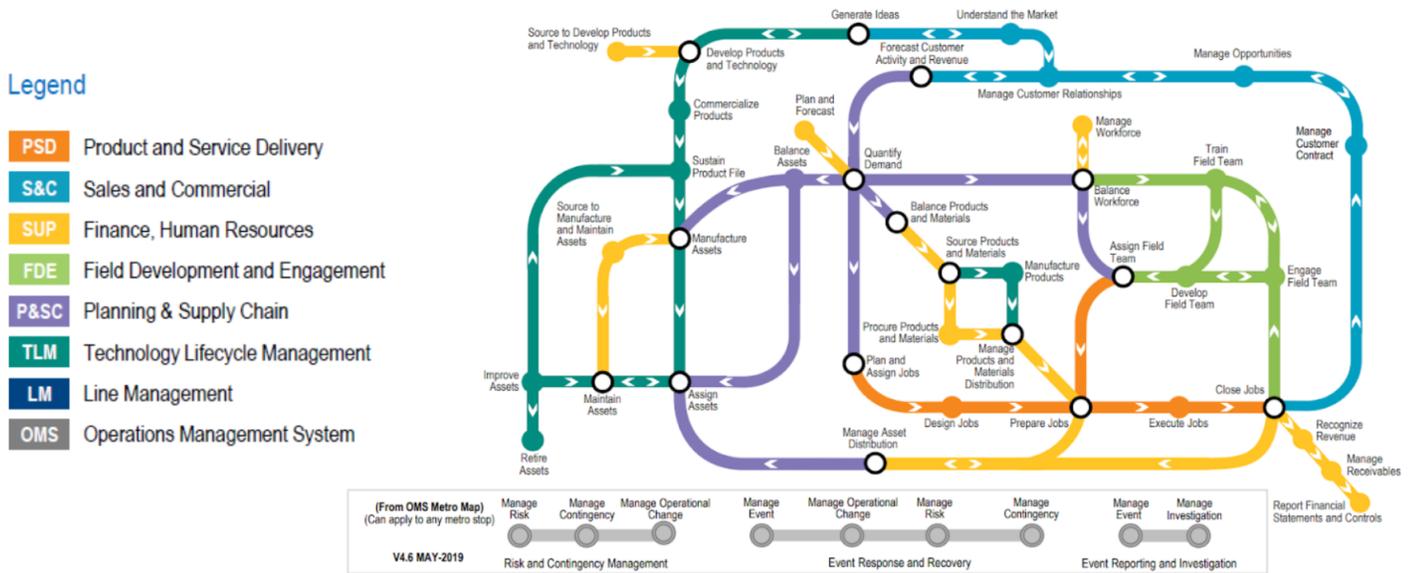


Figure 1.7: Metro map SC Schlumberger(Management Handbook, *Jobs Products Services R20.4.pdf*)

La Supply Chain de Schlumberger repose principalement sur trois structures qui travaillent en synergie avec le reste des départements de l'entreprise :

1. **Achats et approvisionnements (PS)** : constitue à son tour des sous-fonctions "Sourcing" pour l'identification des fournisseurs, leur performance, les risques et les coûts liés à cette relation et "Procurement" pour l'exécution des contrats.
2. **Facilities Construction (FC)** : qui assure la maintenance et la gérance des équipements et des installations de l'entreprise, de ses moyens de manutention, des activités de levage et de manutention, cleaning etc.
3. **Global Distribution (GD)** : pour l'approvisionnement et le suivi des commandes. Elle est elle-même composée des sous-fonctions suivantes :
 - Import/Export (IE) : pour la gestion et le suivi des opérations d'importation et d'exportation des équipements et produits nécessaires à l'activité des PLs.
 - Transport domestique (TD) : pour l'optimisation du transport local et plus particulièrement le transfert des équipements et des produits du segment vers les sites où se déroulent les opérations.
 - Material Management (MM) : pour la gestion des flux matériels et des stocks de l'entreprise.

1.5.1 La Fonction Material Management

Le Material Management (MM) est l'un des quatre axes de la structure de la chaîne logistique de Schlumberger (Logistique, Material Management, Procurement et Sourcing). Cette organisation est jeune au sein de Schlumberger NAF puisqu'elle a été créée en 2009 pour centraliser la gestion des flux physiques (matériaux, pièces de rechange, consommables) à travers un réseau d'entrepôts en collaboration étroite. Chaque entrepôt accueille plusieurs types d'équipements en fonction de l'activité opérationnelle exercée dans la zone où il se trouve. Les principales zones de location de ces entrepôts sont situées en Algérie (Hassi Messaoud, In-Amenas, Hassi-R'Mel et Hassi-Berkine) et en Tunisie (Sfax). [2]

Organisation du Material Management

Pour mieux remplir ses missions, le Material Management est organisée en différents niveaux hiérarchiques où les rôles et responsabilités sont clairement définis et les champs d'intervention bien délimités.

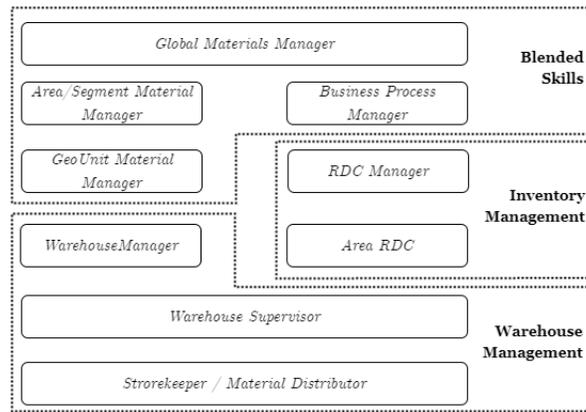


Figure 1.8: Organisation du Material Management

Voici l'organigramme qui illustre les différents niveaux hiérarchiques des acteurs au sein de la fonction Material Management *Figure 1.9*

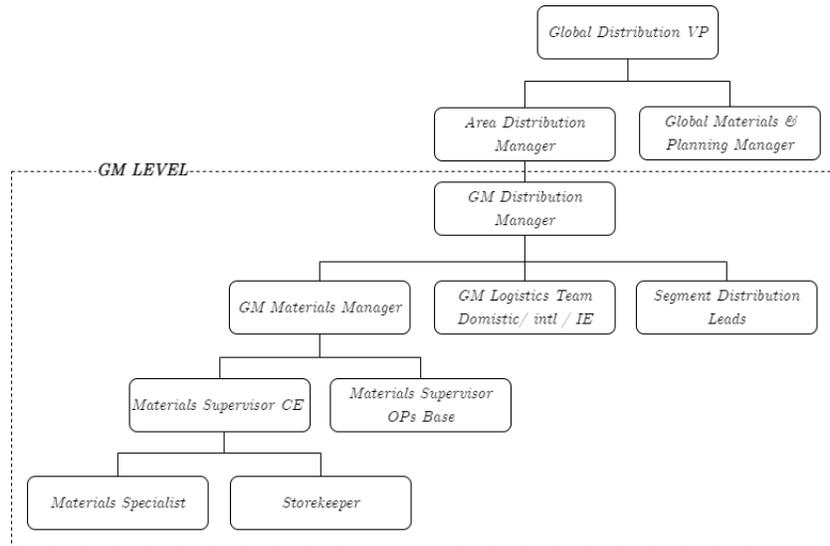


Figure 1.9: Organigramme Material Management

Rôle du Material Management

La fonction de Material Management est responsable de la planification, de l'organisation et du contrôle du flux des matériaux et des informations associées. Afin d'accomplir cette mission, la gestion des matériaux est responsable de trois fonctions principales.

- **La gestion des stocks (Inventory Management)** qui comprend la planification, l'organisation, la direction et le contrôle des activités liées à tous les stocks de matériaux détenus dans l'entreprise. Elle est chargée des principales tâches suivantes :
 - Réapprovisionner les stocks de l'entreprise de manière à fournir aux segments les articles nécessaires à leurs activités.
 - Eviter les ruptures de stocks et les sur-stockages

- **La gestion de l'entrepôt (Warehouse Management)** est au service de la gestion des stocks. Son rôle principal est de gérer l'entrepôt en effectuant les tâches de gestion physique suivantes :
 - Réceptionner et vérifier les articles commandés.
 - Gérer l'affectation des articles dans l'espace de stockage.
 - Gérer les expéditions.
 - Contrôler l'inventaire.
- **La gestion des centres régionaux de distribution (RDC)** qui sont des centres de transit faisant appel, entre autres, aux deux fonctions précédentes. En l'absence de ces centres en Afrique du Nord, la fonction MM n'est responsable que des deux premières fonctions.

Type de matériel

La fonction de gestion des matériaux a été créée pour gérer les différents flux de matières à travers la chaîne logistique. D'un point de vue comptable, l'entreprise distingue trois types de matériaux.

- **Asset** : ou Actif, Ressource économique, matérielle ou immatérielle, qui peut être possédée ou contrôlée pour produire de la valeur. Cette catégorie comprend les moyens de transport, de levage, de forage et de mesure.
- **Financial Inventory** : Produit vendu à un client en tant que tel ou vendu dans le cadre du service effectif. Les explosifs, les produits chimiques et les boues de forage en sont des exemples.
- **Materials and Supplies (M&S)** : Produit utilisé pour réparer les investissements et qui est enregistré dans Profit Loss Statement une fois que le processus d'acceptation est terminé. Les pièces de rechange et les graisses en sont un exemple.

Les Produits M&S et inventaire financier sont divisés en 4 catégories :

- Runners : Pièces utilisées fréquemment avec consommation constante
- Repeaters : Pièces utilisées fréquemment mais avec consommation irrégulière
- Strangers : Pièces utilisées peu fréquemment et avec une consommation variable
- Slow movers : Pièces non consommées au cours des 6 derniers mois

Les pièces de rechange sont souvent classées dans la catégorie "Strangers and Runners" en raison de la nature de la demande.[4]

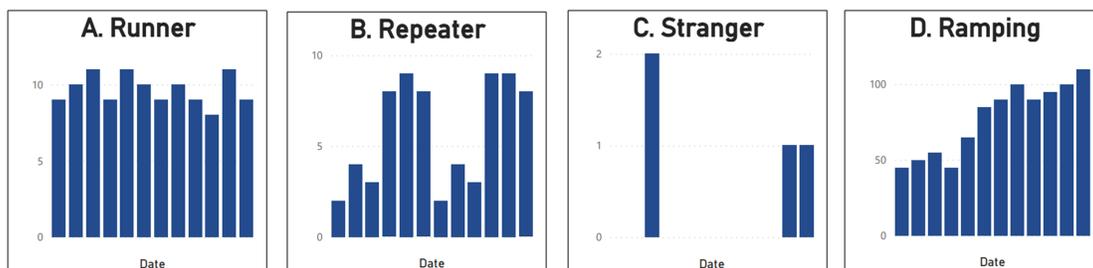


Figure 1.10: Demande des différents types de produits M&S

1.5.2 Processus M&S Management and Distribution

L'entité planification et chaîne logistique (P&SC) s'étend sur plusieurs processus clé couvrant la planification, l'approvisionnement, fournissant des services intégrés, de la demande à la livraison.

Parmi ceux-ci, le processus de M&S Management & Distribution, qui occupe une place essentielle. Son exécution commence par la quantification de la demande et se termine par la préparation des équipements pour les jobs à effectuer et ceux en passant par une succession d'actions qui assurent la satisfaction de la demande en M&S nécessaires à la maintenance.[2]

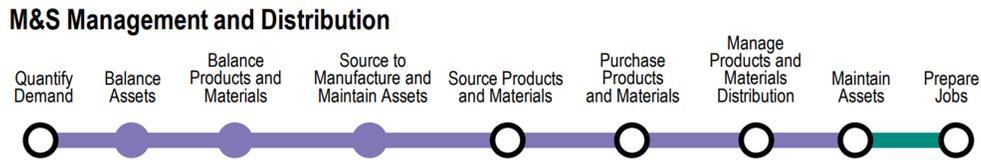


Figure 1.11: Metro Map - Processus M&S management distribution (Products Services - Jobs/Schlumberger HUB)

1.5.3 Processus End-to-End (D-to-D) de Schlumberger

Ce processus englobe toutes les actions nécessaires à l'approvisionnement d'un produit de la demande à la livraison jusqu'au paiement il est divisé en 3 grandes parties : Demande to Deliver, Pack to Deliver et enfin Invoice to Pay. Chaque partie est reliée à des acteurs distincts et oeuvre à la bonne satisfaction de la demande.

Ce processus est présent dans plusieurs divisions de l'entreprise et ne change pas à l'exception de la nature des produits qu'il héberge. La figure suivante (Figure 1.12) montre ces principaux sous processus qui seront détaillés par la suite.[3]



Figure 1.12: Processus End to End de Schlumberger (Schlumberger HUB)

Processus d'expression du besoin et d'approvisionnement (Demand to Order)

La fonction d'approvisionnement organisée autour des centres de services d'approvisionnement (P&SC), est responsable de la planification après l'évaluation des besoins en commande des clients, du traitement des besoins par la création de bons de commande et leur distribution aux fournisseurs, ainsi que du suivi et de l'expédition des bons de commande.

La procédure d'achat décrit l'organisation de cette fonction pour répondre à la demande interne. La description de la procédure d'achat (Demand to Order) se fait en 4 étapes :

- **Identifier le besoin :** Il est de la responsabilité du demandeur ou du planificateur de définir les exigences en biens et services par déclarations documentées de manière formelle, et de garantir une bonne compréhension des éléments "qui", "quoi", "quand", "comment" et "ou" associés à la demande. Au cours de cette étape une description précise et complète des besoins est nécessaire et conditionne le succès global du processus.

- Définir et soumettre la demande :** Une fois la décision de la création de demande prise, vient sa création. Il existe deux types de demandes, les demandes limitées et les demandes standards qui concernent les exigences détaillées avec une portée connue. Dans le cas de demandes d'achat provenant du MRP, ou d'articles en stock, le planificateur évalue les commandes planifiées et les convertit en demandes d'achat si nécessaire. Pour les articles non stockés, le demandeur soumet ses demandes par le biais du panier d'achat SRM "SRM Shopping Cart". Le client peut rechercher et ajouter des pièces et des services indirects spécifiques dans les catalogues internes et externes, également appelés " Punch-out Catalogs ", situés dans le panier d'achat ou saisir des exigences non cataloguées "Non-catalog" (texte libre) si les biens ou les services ne peuvent être trouvés dans un catalogue. Des demandes limitées peuvent également être soumises via le panier d'achat pour des services dont l'étendue et les coûts sont connus, mais dont le détail exact est inconnu. Une demande limitée donnera lieu à un bon de commande "Purchase Order" limité qui contiendra une valeur limite et des dates de début et de fin de validité définie pour l'ensemble de l'étendue des travaux.
- Approuver la demande :** Les demandes d'achat de matériel en stock et de services directs et les paniers d'achat SRM de matériel hors stock et de services indirects doivent être approuvés. Une fois approuvée, la demande d'achat sera transmise au service des achats pour traitement.
- Sourcing du fournisseur et créer un bon de commande :** Le responsable de l'approvisionnement évalue les demandes d'achat en accédant à la liste de travail de l'acheteur " Buyer Worklist " et évalue toutes les demandes d'achat attribuées à son groupe d'achats pour s'assurer qu'elles sont exactes et complètes. et s'approvisionne en pièces et en service. En cas de demandes d'achat non associées à un contrat central SRM, Les demandes doivent faire l'objet d'une recherche de fournisseurs afin d'obtenir des prix et des délais compétitifs auprès de fournisseurs agréés. Le spécialiste des achats enverra le bon de commande au fournisseur sélectionné et assurera le suivi avec le fournisseur pour garantir la réception du bon de commande.

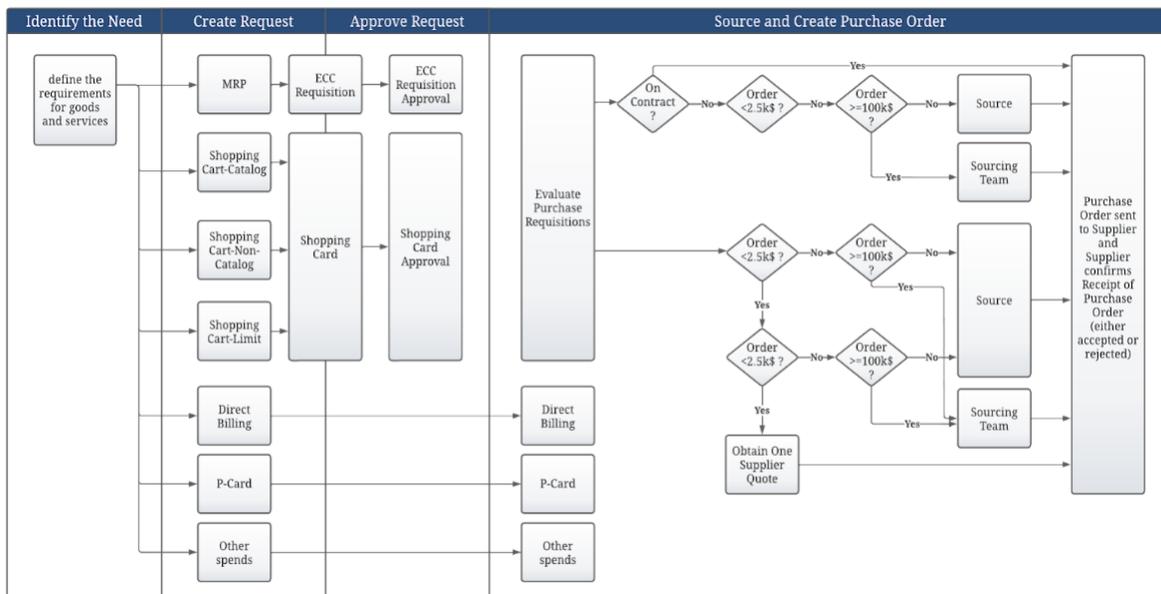


Figure 1.13: Cartographie du processus d'expression du besoin et d'approvisionnement (Schlumberger HUB)

Processus de Distribution (Pack to Deliver)

GOLD (Global Oilfield Logistics Distribution)

Établi en 2002, le Global Oilfield Logistics Distribution se compose d'un ensemble de centres de distribution et de ressources humaines qui permettent de coordonner, contrôler et organiser les opérations logistiques d'acquisition d'équipements et produits qui vérifient les conditions suivantes :

- Commande internationale.
- Commande passée par le système SWPS (Schlumberger Web Procurement System)
- Le fournisseur a une identité ASL (Approved Suppliers List) dans le système.

Les achats non Gold représentent que 5 % des achats total. L'objectif de l'entreprise est de les minimiser encore plus pour des raisons de traçabilité et pour une meilleure gestion des coûts.

Pack to Deliver

Ce processus intervient à la suite de l'expression du besoin et la passation de la commande. Le département de distribution assure ainsi l'achèvement et la bonne exécution du déplacement des biens jusqu' à la zone de réception. L'importance de ce processus réside dans le potentiel de gain en marge budgétaire qu'il représente en fonction de sa vitesse et les coûts loués à sa réalisation

La conception de ce processus s'inscrit dans la politique de transformation de l'entreprise. Ainsi, elle vise à améliorer la qualité du service tout en optimisant les coûts de stockage et de distribution, à travers ces objectifs :

- Assurer une meilleure visibilité du processus aux clients internes : les segments pourront faire le suivi de leurs commandes en temps réel grâce à la mise en place d'une plateforme informatique appelée " TMO : Track My Order ".
- garantir une haute fiabilité des estimations du temps de mise en œuvre pour une planification optimale des missions des segments.
- Optimiser les LEADTIMES (Le but est de les réduire de 25% en assurant une grande réactivité de l'équipe de logistique)
- Assurer le perfectionnement de la fonction de gestion des stocks (Materials Management), en optimisant le niveau des stocks (réduction de 25%) en ayant les bonnes quantités au bon moment. Ainsi que l'optimisation des conditions de stockage en fonction des spécificités des produits.
- Réduire de 10 % les coûts de distribution locaux et internationaux grâce à une conception adéquate des réseaux de distribution.

Pour mieux gérer l'END TO END processus, Schlumberger le décline selon 7 sous-processus principaux appelés LEG, illustrés dans la figure ci-dessous. (Figure 1.14)



Figure 1.14: Les LEG composant de END To END Process (Schlumberger HUB)

A Processus préparation de la commande et transport au HUB (LEG 1/LEG2) : Ce processus cartographié au premier niveau sur la Figure 1.15 commence avec la passation de la commande. Selon les incoterms et les clauses du contrat avec le fournisseur, le HUB attendra que celui-ci livre la commande, ou la prépare pour pouvoir la récupérer.

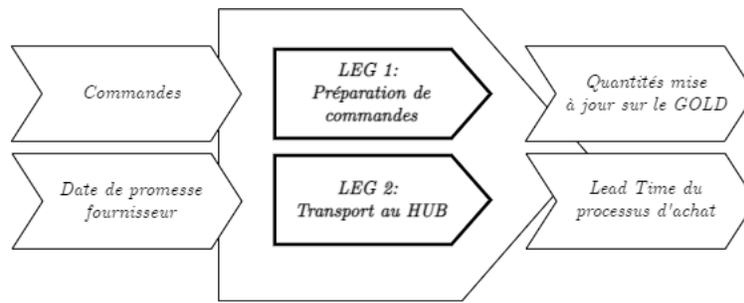


Figure 1.15: Cartographie du niveau 1 pour LEG1 et LEG2

B Processus au sein du centre de distribution (LEG 3/LEG4): Ce processus consiste à consolider les commandes afin d’optimiser les flux. La consolidation au sein du HUB se fait à deux niveaux :

- Premier niveau : Plusieurs commandes sont regroupées en un DO (Delivery Order) selon des critères spécifiques tels que l’urgence.
- Deuxième niveau : Plusieurs DO sont regroupés en un DOC (Delivery Order Consolidation).

Une fois la consolidation terminée, une réservation est effectuée pour les marchandises en choisissant le moyen de transport le plus optimal. Le HLS (HUB Logistics specialist) fera appel à un prestataire de transport, si le prestataire ne dispose pas de la flotte pour expédier les marchandises à destination, il fera appel à un expéditeur.

Après la réservation, le spécialiste de l’import/export donne le feu vert (Green Light) pour le transfert des marchandises vers la zone de réception après vérification de la facture commerciale.

La figure ci-dessous (*Figure 1.16*)représente la cartographie des sous-processus réalisés dans le HUB.

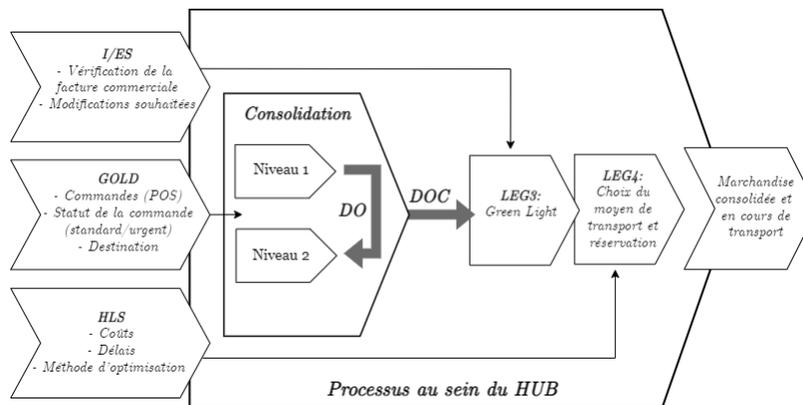


Figure 1.16: Cartographie du niveau 1 pour LEG3 et LEG4

C Processus de transport international (LEG 5) C’est le processus par lequel les marchandises sont transférées du HUB à la zone de réception qui, dans notre cas, est l’Algérie.

Schlumberger utilise plusieurs modes de transport qui sont choisis en fonction de l’optimisation des coûts et des délais et en tenant compte de la nature des marchandises. Les types de transport qui répondent aux besoins de l’entreprise sont :

- Le transport maritime : utilisé à des fins économiques car il permet d’optimiser les coûts en cas de transport de grandes quantités.
- Le transport aérien : utilisé pour des raisons de réactivité. Par conséquent, ce mode est utilisé lorsque le besoin de ce matériel est urgent et que le poids n’est pas très important.

- Le transport terrestre : utilisé dans le cas où les marchandises sont expédiées du HUB de Rotterdam où elles sont transférées par camion au port de Marseille. Ensuite, le camion est entièrement chargé sur le premier navire disponible à destination de la Tunisie. Une fois arrivé, il sera déchargé et conduit à la zone de réception via les frontières algéro-tunisiennes.

D **Processus de dédouanement et transport domestique (LEG6/LEG7)** Une fois la marchandise expédiée vers l'Algérie, une porte d'entrée est choisie en fonction du mode de transport et selon les critères d'optimisation des coûts et des délais de transport aussi. On distingue les portes d'entrée suivantes: (*Figure 1.17*)

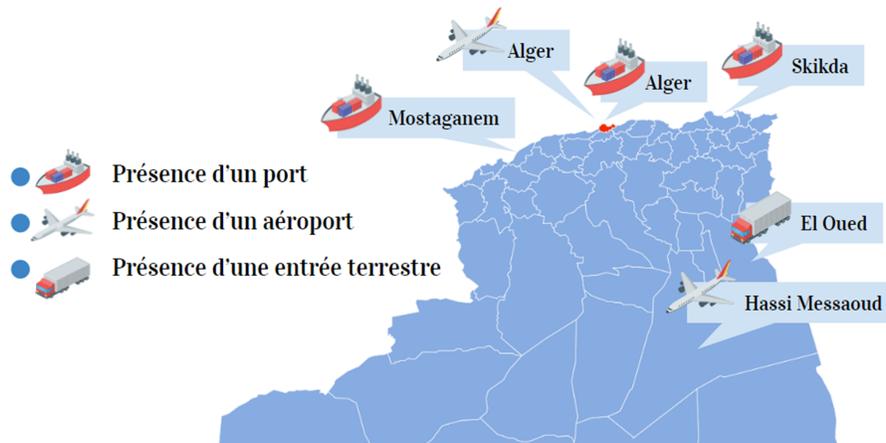


Figure 1.17: Ports d'entrée utilisés par Schlumberger pour le dédouanement au niveau de l'Algérie

Schlumberger ne s'occupe pas du dédouanement de ses marchandises mais sous-traite cette fonction depuis 2014 à **ARAMEX**, une société internationale de services express, de livraison de courriers et de logistique dont le siège est à Dubaï, aux Émirats arabes unis, en plus de **FENNEC** depuis le troisième trimestre de l'année 2021, Le choix de ces transitaires se justifie par le fait que Schlumberger souhaite travailler avec des entreprises internationales afin qu'elles soient présentes dans le monde entier dans le but de standardiser au maximum les interactions avec ses sous-traitants pour gagner du temps et des coûts.

Une fois le dédouanement achevé, les marchandises sont convoyées vers l'entrepôt régional de NAG par le même prestataire (ARAMEX ou FENNEC).

1.5.4 Maintenance au sein de Schlumberger

Schlumberger propose à ses clients une multitude d'équipement et de services pétroliers et assure le suivi de ses jobs tout le long de leur exécution.

D'abord, d'une manière générale, Schlumberger, en tant qu'acteur industriel de premier plan, doit faire face à une concurrence exacerbée, d'où l'importance de se procurer d'une fonction maintenance.

On retrouve parmi les fonctions de la maintenance, la fonction du Time Life Cycle, processus clé pour Slb. En effet, le niveau élevé de technologie des équipements que propose Slb fait qu'il est nécessaire de mettre à disposition les matériaux de remplacement et le savoir-faire nécessaires tout au long de la durée de vie de l'équipement pour pouvoir résoudre au mieux les pannes. L'importance d'avoir une fonction pareille pour une entreprise comme Slb tient aussi et surtout de l'exigence de ses clients internes pour la disponibilité de ses équipements, exigence inhérente au secteur pétrolier. L'indisponibilité d'un équipement peut en effet avoir des conséquences particulièrement graves sur la capacité à satisfaire la demande et à exécuter les jobs planifiés et par conséquent présenter des risques par rapport à l'image de l'entreprise.

Technology Lifecycle Management Process

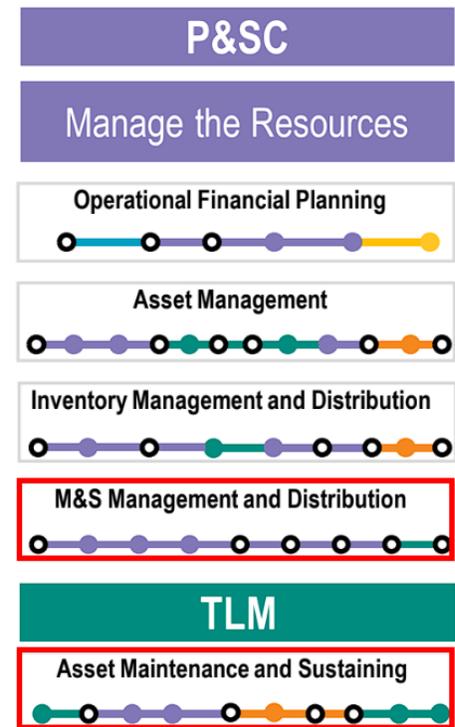
La fonction TLM est responsable de l'assurance technologique, de la commercialisation à la mise hors service, en passant par l'entretien et la maintenance.

TLM établit des processus de maintenance cohérents et à la pointe de l'industrie et garantit que les activités de soutien sont agiles et synchronisées avec les exigences des opérations régionales variées. La TLM vise à fournir les actifs les plus fiables aux opérations au moindre coût, à temps, à chaque fois.

Dans le cas de la gestion du cycle de vie des actifs, le processus TLM passe très souvent par le type de maintenance conditionnelle, en tenant compte du nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement.[2] Le modèle opérationnel permet de mieux cibler les fonctions ; toutefois, pour que l'opération soit réussie, il faut que les fonctions travaillent ensemble de manière transparente.

Il est essentiel que les intrants et les extrants de chaque activité soient bien compris et clairs, en particulier lorsque plusieurs fonctions interagissent.

Des processus clés relient ses multiples fonctions et veillent à ce que les activités soient cohérentes, que les missions (Jobs) soient compris, que les changements clés soient identifiés et que des accords d'interface soient générés.



Metro map processus de maintenance (Schlumberger Hub)

1.6 Audit Logistique

Dans le but d'analyser et de comprendre au mieux l'état de fonctionnement actuel de la division Well Construction et sa business line WCM, il est impératif de commencer notre étude par un audit logistique afin de mesurer et de vérifier la conformité aux exigences et mettre en lumière les dysfonctionnements dans une optique d'amélioration continue.

Dans ce qui suit, nous procéderons à une application des différents outils d'audit logistique avant de choisir le plus adéquat et de procéder au diagnostic.

1.6.1 Diagnostic interne

Choix du référentiel

Un référentiel constitue une base de comparaison indispensable à la formulation du jugement, ce système d'évaluation est indispensable pour mener à bien un audit.

Notre choix s'est porté sur le référentiel SCOR grâce à une analyse multicritères illustrée sur *Annexe C*

SCOR (Supply Chain Operations Reference) est un référentiel mondial et une démarche méthodologique structurée qui vise à l'optimisation des processus de logistique, en rassemblant les nombreux acteurs de la chaîne logistique. Ce cadre se concentre sur cinq domaines de la Supply Chain : planification, approvisionnement, fabrication, livraison et retour. Qui à leur tour sont divisés en macro-processus.[5]

Le cadre comprend trois niveaux utilisés pour mesurer les performances et plus de 250 mesures SCOR, classées en fonction de cinq attributs de performance : fiabilité, réactivité, agilité, coûts et efficacité de la gestion des actifs. En définissant les exigences de la chaîne d'approvisionnement en déterminant les attributs de performance à privilégier.

La démarche de l'audit

Dans ce qui suit nous allons dérouler la démarche d'audit Logistique en utilisant le référentiel SCOR au sein de la division Well construction au niveau de sa business line WCM de Slb.[6]

Après discussion et concertation avec le corps managérial de la division concerné par notre étude, et compte tenu de notre sujet nous avons limité la portée de l'audit au processus de planification qui représente la finalité de notre investigation, mais aussi de celui d'approvisionnement et distribution, négligeant ainsi la fabrication et le retour qui ne concerne pas notre division. Donnons la cartographie de niveau 1 suivante (Figure 1.18) :

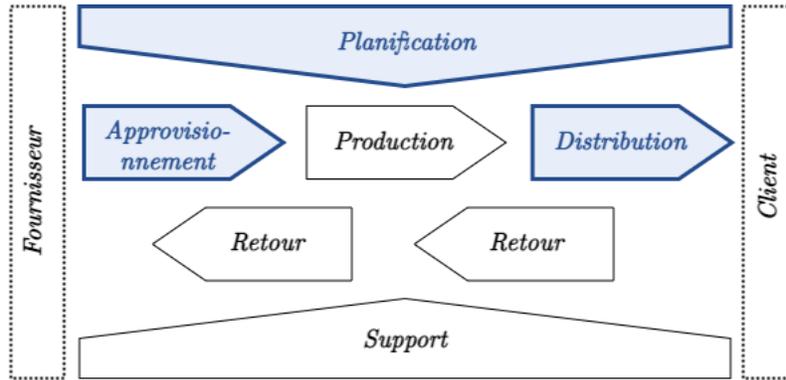


Figure 1.18: SCOR Cartographie du niveau 1 : Processus globale

sP. Processus de planification

Le processus de planification est un processus clé et son optimisation peut créer un avantage concurrentiel important pour l'entreprise. dans le cadre de la décomposition au 2e niveau on distingue 3 sous-processus en adéquation avec notre étude qui vont représenter un référentiel d'audit pour les processus de SLB : Processus de planification de la Supply chain (SC), de la planification l'approvisionnement et de la planification de la distribution, Illustrée dans la cartographie du Niveau 2 suivante (Figure 1.19) :

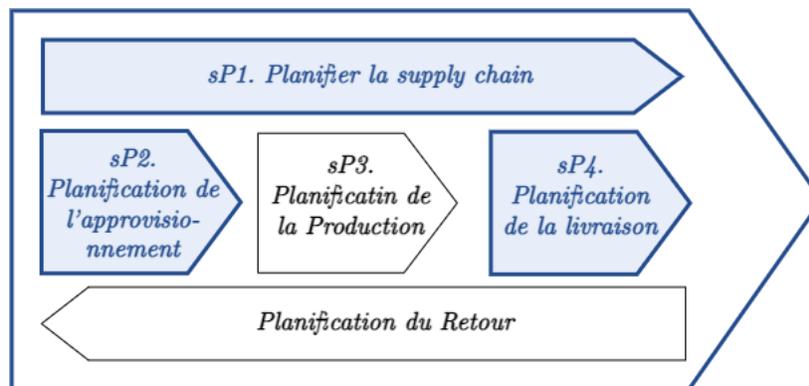


Figure 1.19: SCOR Cartographie du niveau 2 : Processus Planification

À présent nous passons au Niveau 3 du référentiel, qui concerne les sous-processus du processus choisis au préalable. Voici un tableau (Table 1.2) qui regroupe la décomposition en niveau 3 du processus de planification :

Table 1.2: SCOR les 3 niveaux du processus de la planification

Niveau 1	sP. Processus de planification		
Niveau 2	sP1. Planifier la supply chain	sP2. Planifier l'approvisionnement	sP4. Planifier la livraison
Niveau 3	<p>sP1.1 Identifier, classer par ordre de priorité et regrouper les exigences de la supply chain</p> <p>sP1.2 Identifier, prioriser et regrouper les ressources de la supply chain</p> <p>sP1.3 Équilibrer les ressources de la supply chain avec les exigences de la SC</p> <p>sP1.4 Etablir et communiquer les plans de la supply chain</p>	<p>sP2.1 Identifier, prioriser les exigences globales du produit</p> <p>sP2.2 Identifier, évaluer les ressources globales du produit</p> <p>sP2.3 Équilibrer les ressources du produit avec les exigences du produit</p> <p>sP2.4 Établir des plans d'approvisionnement</p>	<p>sP4.1 Identifier, prioriser et regrouper les besoins de livraison</p> <p>sP4.2 Identifier, évaluer et regrouper les ressources de livraison</p> <p>sP4.3 Équilibrer les ressources et les capacités de livraison avec les exigences de livraisons</p> <p>sP4.4 Etablir des plans de livraison</p>

Les résultats des grilles d'évaluation sont en *Annexe D*

sS.Processus d'approvisionnement

Plus qu'une nécessité, l'approvisionnement peut être un atout lorsqu'il est optimisé pour réduire les coûts en évitant les retards. Après discussion et des recherches sur ce processus au sein de la division, on a conclu que le processus adéquat pour notre étude dans la décomposition du niveau 2 du référentiel SCOR est le processus d'approvisionnement sur le stock, donnant la cartographie de niveau 2 suivante :

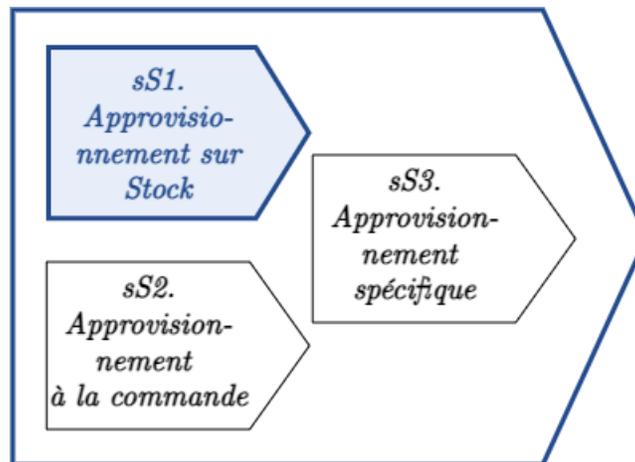


Figure 1.20: SCOR Cartographie du niveau 2 : Processus d'Approvisionnement (Sourcing)

On passe ensuite au niveau 3 qui décompose les sous-processus illustrés en rouge. Le tableau suivant (*Table 1.3*) décrit les processus audités par rapport au processus d'approvisionnement.

Table 1.3: SCOR les 3 niveaux du Processus d'Approvisionnement

Niveau 1	sS. Processus d'approvisionnement
Niveau 2	sS1 Approvisionnement sur stock
Niveau 3	sS1.1 Planifier les livraisons de produits sS1.2 Réception des produits sS1.3 Vérifier le produit sS1.4 Transférer le produit sS1.5 Autoriser le paiement du fournisseur

De même les résultats des grilles d'évaluation sont en *Annexe D*

sD. Processus de distribution

Le processus de livraison est un processus essentiel à auditer, car il représente l'ensemble de la logistique nationale de SLB. Sa décomposition en niveau 2 est illustrée sur la figure suivante (*Figure 1.21*) : :

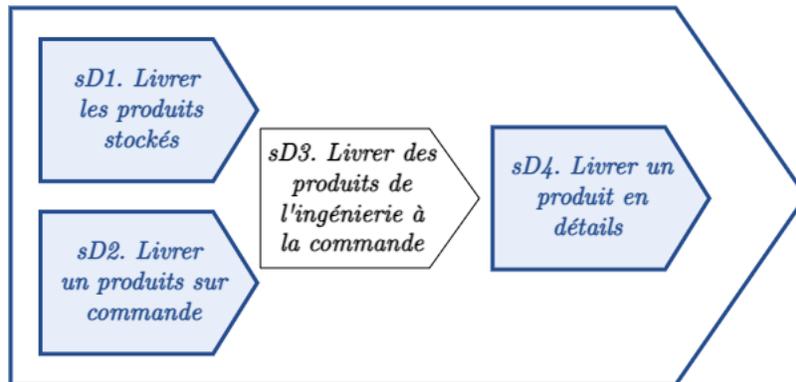


Figure 1.21: SCOR Cartographie du niveau 2 : Processus de Distribution

Les types de produits que SLB livrent a la division Well construction sont les M&S et les Assets, ces produits sont transportés selon 3 types de distribution. Le tableau suivants (*Table 1.4*) regroupe la decomposition en niveau 3 du processus de distribution :

Table 1.4: SCOR les 3 niveaux du Processus de Distribution

Niveau 1	sD. Processus de Livraison		
Niveau 2	sD1 Livrer les produits stockés	sD2 Livrer un produit sur commande	sD4 Livrer un produit en détail
Niveau 3	sD1.1 Traiter les demandes de renseignements et les devis sD1.2 Recevoir, saisir et valider la commande sD1.3 Réserver les stocks et déterminer la date de livraison sD1.4 Regrouper les commandes sD1.5 Créer des chargements sD1.6 Acheminer les envois sD1.7 Sélectionner les transporteurs et tarifier les envois sD1.8 Recevoir les produits de la source ou du fabricant sD1.9 Prélever le produit sD1.10 Emballer le produit sD1.11 Charger le produit et générer les documents sD1.12 Expédier le produit sD1.13 Réception et vérification du produit par le client sD1.14 Installer 1 produit sD1.15 Facturation	sD2.1 Traiter les demandes de renseignements et les devis sD2.2 Recevoir, configurer, saisir et valider la commande sD2.3 Réserver les stocks et déterminer la date de livraison sD2.4 Regrouper les commandes sD2.5 Créer des chargements sD2.6 Acheminer les envois sD2.7 Sélectionner les transporteurs et tarifier les envois sD2.8 Recevoir les produits de la source ou du fabricant sD2.9 Prélever le produit sD2.10 Emballer le produit sD2.11 Charger le produit et générer les documents d'expédition sD2.12 Expédier le produit sD2.13 Réception et vérification du produit par le client sD2.14 Installer le produit sD2.15 Facturation	sD4.1 Générer un calendrier de stockage sD4.2 Recevoir les produits au magasin sD4.3 Prélever les produits dans l'arrière-boutique sD4.4 Stocker les étagères sD4.5 Remplir le panier d'achat sD4.6 Passer à la caisse sD4.7 Livrer et/ou installer

De même les résultats des grilles d'évaluation sont en *Annexe D*

Résultats et interprétations A l'issue de notre audit, les résultats de la grille d'évaluation des différents processus illustrés dans l'*Annexe D* ont permis de constater les dysfonctionnements suivants :

- Absence de coûts alloués à la planification de la supply chain.
- Manque de visibilité sur la demande des M&S à cause de la non-adaptation des méthodologies de prévisions.
- Imprécision des prévisions au niveau des processus de planification et d'approvisionnement.
- Accroissement et variabilité des délais des fournisseurs entraînant des anomalies lors de l'exécution des commandes.
- Manque d'optimisation des niveaux de stock et plus précisément des stocks de sécurité, entraînant des coûts de stockage et commande exceptionnelle, supplémentaires.

1.6.2 Diagnostic externe

SWOT est un acronyme qui signifie forces, faiblesses, opportunités et menaces, cette technique utile pour évaluer ces quatre attributs, joue un rôle crucial dans l'organisation.

Les forces et les faiblesses font référence à des facteurs internes tels que (les processus actuels, les ressources humaines, etc.) tandis que les opportunités et les menaces se concentrent sur des facteurs externes tels que (les tendances du marché, les tendances économiques, les réglementations politiques et économiques, etc.)

L'analyse SWOT va nous aider à voir où se trouvent les terrains d'amélioration de l'entreprise et où elle est vulnérable.

Pour ce faire, nous utiliserons le diagnostic interne notamment les résultats d'audit SCOR pour identifier les forces et faiblesses dans un premier lieu. En second lieu et grâce à des recherches sur le marché et veille informationnelle nous déterminerons les menaces et opportunités relatives à Schlumberger NAF.

Les résultats du diagnostic se présentent comme suite :

Forces

Schlumberger dispose d'un personnel de planification expert et qualifié, capable de prendre des décisions très importantes pour le bien de l'entreprise afin de garantir l'évolution de son image de marque sur le marché des services pétroliers. Ainsi, sa position de leader mondial lui a permis de s'assurer un réseau de fournisseurs performants pour décrocher de nouveaux marchés et conquérir de nouveaux horizons de service.

Faiblesses

Malgré sa forte présence sur le marché pétrolier, Schlumberger a du mal à gérer de manière fluide son immense structure, avec des lacunes telles qu'un manque de visibilité de la demande qui rend difficile la satisfaction de ses clients internes et externes, une mauvaise coordination entre ses systèmes, et des sources de données multiples qui rendent difficile l'accès aux informations ciblées.

Opportunités

Après la crise sanitaire que le monde a connue ces deux dernières années, Schlumberger a pu maintenir son statut de leader dans le monde et en Algérie et a réussi à développer de nouveaux projets et à pénétrer plusieurs marchés comme celui des énergies renouvelables pour augmenter son chiffre d'affaires et gagner en compétitivité.

Menaces

La réputation de Schlumberger continue de laisser son empreinte sur l'industrie des services pétroliers et gaziers, mais cela n'empêche pas de nouvelles entreprises d'entrer et de briser les barrières à l'entrée sur le marché algérien et de gagner des parts de marché. De plus, le gouvernement peut imposer des règles, des pénalités et des retards aux activités de Schlumberger, ce qui entraîne des coûts supplémentaires.

La synthèse de cette analyse est illustrée dans une matrice en (*Annexe E*)

1.7 Présentation de la problématique

L'analyse des différents dysfonctionnements mis en lumière grâce au diagnostic interne et externe établis, ajoutés aux diverses concertations avec le corps managérial de l'entreprise, nous a permis de définir les besoins réels qui concernent la division Well Construction plus précisément la business line WCM.

Ceci nous a amené à identifier une problématique majeure relative à la planification en pièces de rechange (M&S), qui connaît une demande faiblement satisfaite dans des conditions qui mettent l'image de l'entreprise en péril risquant ainsi sa place de leader du marché. Ce qui nous amène à nous poser la question suivante :

Comment concevoir et mettre en place un système de planification de la demande en M&S et contribuer à l'optimisation du processus de planification de SLB ?

Pour pouvoir mieux répondre à cette interrogation, on la décompose en plusieurs questions :

- Quel est le moyen idéal pour prévoir la demande ? Et la satisfaire avec la bonne quantité au bon moment ?
- Quel est la quantité optimale des pièces à commander pour répondre à une demande irrégulière tout en minimisant les coûts logistiques et en réduisant les risques liés à la rupture des stocks ?
- Comment pouvons-nous suivre la demande et les quantités commandées ?
- Comment pouvons-nous avoir une visibilité sur les les délais de livraison fournisseur (SDT) ?

Afin de synthétiser et cerner au mieux la problématique, nous allons utiliser l'outil **QOOQCP** illustrée sur le tableau suivant :

Table 1.5: QOOQCP de la Problematique

Question	Réponse
Quoi ?	L'objet de l'étude est l'optimisation de la planification de la demande en M&S et l'amélioration du processus de planification.
Qui ?	Les acteurs concernés par la problématique : - Le supplier manager - Sourcing leaders/managers - Les équipes du service Material Management
Où ?	Les processus de la Fonction Material Management (Division Well Construction - Business line WCM).
Quand ?	La problématique existait depuis l'existence de l'entreprise en Algérie.
Comment ?	La problématique se pose dans les conditions où les acteurs concernés voudront réduire les ruptures de stocks en M&S et les coûts d'approvisionnement.
Pourquoi ?	Pour augmenter le taux de satisfaction de la demande et conserver la place de leader sur le marché.

À la fin de ce chapitre, nous avons pu acquérir une bonne connaissance de l'entreprise Schlumberger, de son secteur d'activité et du marché dans lequel elle évolue. Nous avons présenté et étudié sa structure globale et la structure de sa Supply Chain, avant de nous intéresser à la fonction de Material Management et de ses caractéristiques.

Suivi d'un diagnostic d'abord interne par le référentiel SCOR où nous avons pu dresser une liste de dysfonctionnement, puis externe identifiant ainsi les menaces et opportunités de l'entreprise. Nous avons par la suite dressé la problématique afin de mieux la cerner et de guider notre démarche dans le pilotage de ce projet qui vise à l'optimisation de la planification de la demande en M&S et l'amélioration du processus de planification.

Le chapitre suivant aura pour but de présenter l'état de l'art et d'explorer la littérature pour introduire les concepts et notions théoriques relatifs à la résolution.

Chapitre 02

État de l'art

Chapter 2

État de l'art

Dans ce deuxième chapitre, les aspects théoriques de base liés à notre travail sont introduits. Ses quatre parties ont pour but de se familiariser avec les différents concepts et la terminologie utilisés pour faciliter la compréhension de la solution proposée.

Dans la première partie, nous commençons par discuter des principaux concepts de la chaîne logistique, et plus particulièrement de celle des pièces de rechange. Dans un deuxième temps, nous explicitons les principes fondamentaux de la prévision de la demande pour assurer une meilleure visibilité sur le marché, en nous concentrant davantage sur les modèles que nous utiliserons dans le chapitre suivant. Dans la troisième partie, nous énonçons la problématique de la planification de la demande en pièces de rechange, sa démarche, les approches et modèles qui y répondent ainsi que les méthodes dédiées à sa résolution. Cette partie constitue la base de l'approche de planification développée dans le dernier chapitre de ce projet. Enfin, une quatrième partie est consacrée à l'introduction des différents concepts sur les outils technologiques de visualisation et de suivi de la performance logistique.

2.1 Vocabulaire relatif à la Supply Chain en Amont

2.1.1 La supply chain, Concepts et structure

Dans cette section, nous présenterons brièvement un ensemble d'éléments constitutifs, de définitions et de notions de la Supply chain ou autrement appelée la Chaîne Logistique que nous aborderons tout au long du rapport.

Définition

" Une chaîne logistique représente un ensemble d'acteurs, où chacun est à la fois le client de l'acteur amont et le fournisseur de l'acteur aval, qui interagissent et enchaînent un certain nombre de processus de façon cohérente. "

Dupont, (2003).

" La chaîne logistique est l'ensemble des activités et des flux physiques, informationnels et financiers permettant le transfert du bien ou du service, depuis le point de départ (fournisseur), jusqu'au point d'arrivée (client final). "

Lazrak et al. (2015).

Ainsi, la chaîne logistique est un ensemble de flux physiques, informationnels et financiers circulant entre plusieurs acteurs, où chacun est à la fois fournisseur de la phase aval et client de l'acteur de la phase amont qui le précède.[8][9]

Structure de la supply chain

" La chaîne logistique est un ensemble d'entités qui sont impliquées dans les activités et les fonctions soutenant le flux de marchandises depuis les fournisseurs initiaux jusqu'au client final. " (Cooper M. C. et al. (1997)).

La structure d'une chaîne logistique dépend donc évidemment de sa nature et des objectifs visés. Lors de sa conception, plusieurs architectures ont été développées, du point de vue du flux physique, **Mentzer et al (2001)** ont proposé trois types de structures de chaînes logistiques : Chaînes logistiques directes, étendues et la chaînes logistiques ultimes, en fonction de leur complexité. [7](Figure 2.1)

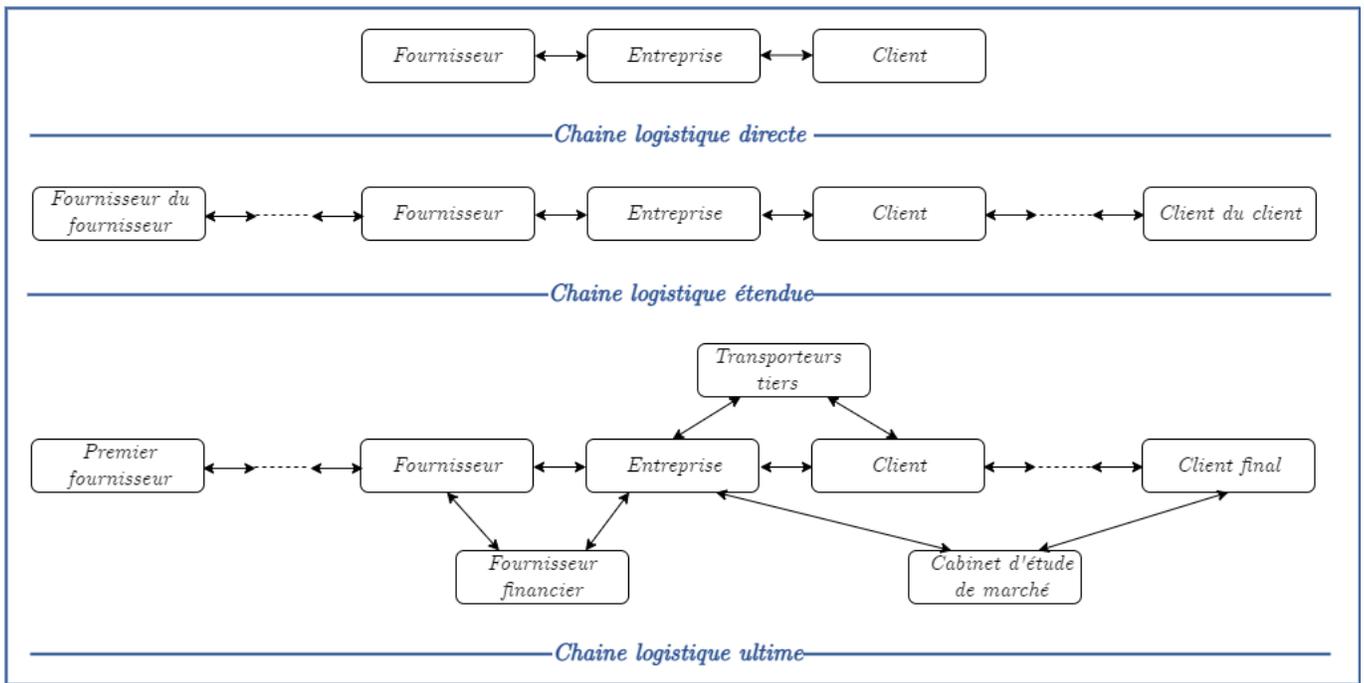


Figure 2.1: Types de chaîne logistique (Mentzer et al (2001))

Les flux de la chaîne logistique

Il existe trois flux principaux le long d'une chaîne logistique :

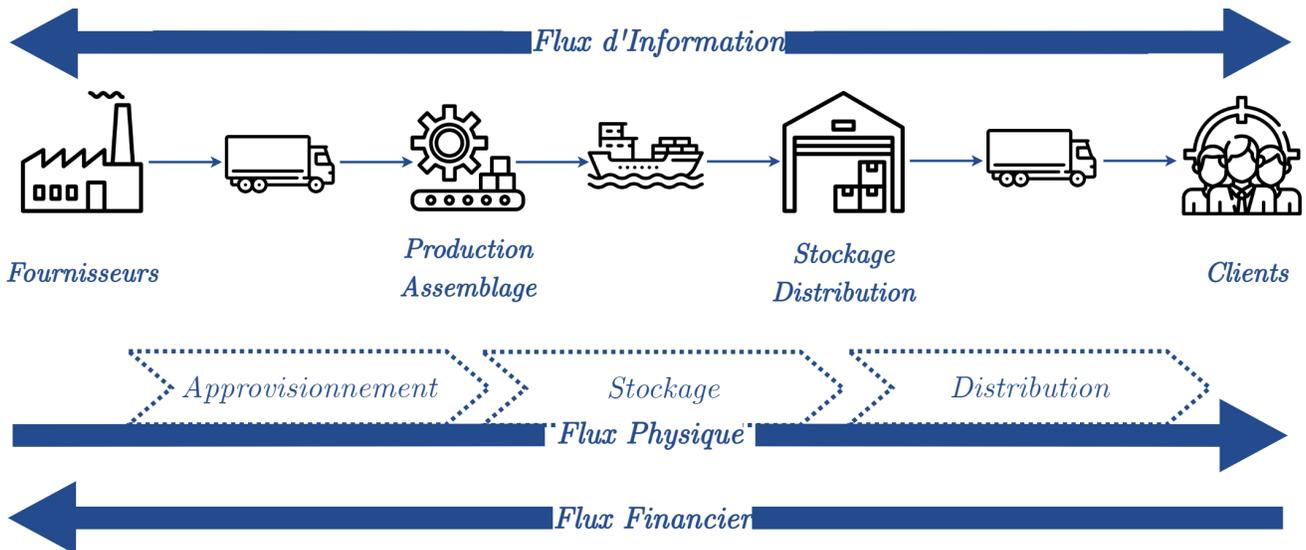


Figure 2.2: Les flux de la chaîne logistique

1. Flux physique :

Le flux physique est le premier composant d'une chaîne logistique et donc le plus analysé dans son contexte d'optimisation. Un flux physique représente la matière première, un produit semi-fini circulant d'un fournisseur à un client intermédiaire, ou un produit fini à destination du client final. Les principales opérations du flux physique sont :

- **Approvisionnement** : Consiste à établir des accords avec les fournisseurs afin de passer des commandes de biens ou de services. Le processus implique la prise de décision d'achat stratégique adapté aux conditions données.

L'objectif d'un approvisionnement optimal est de veiller à la disponibilité des biens pour les clients avec un stock minimal. Les opérations d'approvisionnement impliquent souvent des choix basés sur les délais de livraison et les prix de chaque fournisseur.

Les éléments déterminants (ou données d'entrée) de l'approvisionnement sont le niveau de stock actuel, le stock de sécurité, la prévision de la demande, la quantité minimale de commande et la taille du lot. Pour les indicateurs de performance (ou éléments de sortie), ce sont des éléments qui évaluent l'équilibre entre le niveau de stock et la satisfaction des besoins des clients, comme le taux de couverture, qui signifie le pourcentage de produits actuellement disponibles pour les clients. Un autre indicateur de performance est la rotation des stocks, qui représente le nombre moyen de jours pour consommer les stocks. Plus ce nombre de jours est faible, plus l'inventaire est efficace.

- **Transformation** : Consiste à transformer les biens, qui peuvent être des matériaux, des produits ou des services livrés par un fournisseur avant de les distribuer aux clients.
- **Distribution** : Correspond aux différentes opérations qui permettent le transport, le stockage, la distribution et l'entreposage des produits ou services dans le réseau logistique de l'entreprise. La performance de la distribution des biens de l'entreprise a un rôle important dans la satisfaction du client. Il existe plusieurs indicateurs de performance de la distribution, tels que le " fill rate ", qui représente le taux de demande des clients qui a été satisfaite à partir des stocks locaux sans qu'il ne soit nécessaire de se réapprovisionner.

2. Flux informationnel :

Le flux d'informations représente les données qui circulent dans la chaîne logistique, du fournisseur au client ou dans le sens inverse. Les données existent à des fins de communication, de coordination des activités de l'entreprise entre ces différentes entités ainsi que de planification et d'aide à la décision telle que la prévision et la visualisation des mesures de performance.

3. Flux financier :

La coordination des flux physiques, des flux d'informations et des flux financiers est indispensable pour garantir la rentabilité économique, la satisfaction des clients et assurer la pérennité de l'entreprise. Sans flux financiers, les partenaires de la chaîne logistique ne seraient plus en mesure de fonctionner et la collaboration entre eux deviendrait impossible. Le flux financier (ou flux monétaire) circule dans le sens inverse du flux physique. Il représente la valeur totale des ventes et des achats au cours d'une période comptable.

2.1.2 La supply chain des pièces de rechange

Définition

La chaîne logistique des pièces de rechange représente un élément important de la continuité de fonctionnement de plusieurs systèmes industriels, contribuant à l'exécution en temps voulu des opérations de maintenance. L'absence d'une chaîne logistique appropriée peut engendrer des MDT (Mean Down Time) élevés et des coûts importants liés à l'indisponibilité des systèmes sur le site du client (Huiskonen et al. (2001)), ainsi que des coûts d'acheminement importants.

Conformément aux conclusions de Tapia-Ubeda et al. (2018), la chaîne logistique des pièces de rechange est une structure qui se compose de fournisseurs, de transporteurs, ainsi que d'entrepôts de stockage internes et externes afin de garantir la disponibilité des pièces aux clients (*Figure 2.2*). Il faut noter ici que la demande de pièces de rechange est dictée par les stratégies de maintenance mises en place par le client. L'optimisation de la maintenance préventive et corrective est basée sur les caractéristiques de fiabilité des systèmes, qui peuvent elles-mêmes dépendre des conditions de fonctionnement et d'utilisation de ces mêmes produits. Ceci ajoute une couche de complexité et renforce le caractère aléatoire du problème de décision.[10][11]

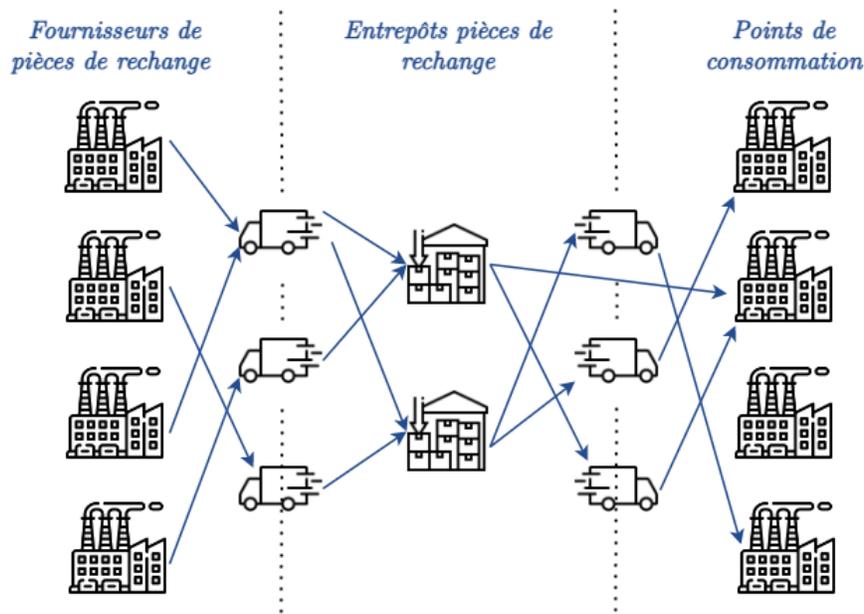


Figure 2.3: La chaîne logistique de pièces de rechange générique

Caractéristiques de la chaîne logistique de pièces de rechange

La chaîne logistique des pièces de rechange a ses propres particularités par rapport à la chaîne logistique classique, et ce à plusieurs niveaux :

- **La nature de la demande**

Dans une chaîne logistique de pièces de rechange, la demande est en fait principalement axée sur les opérations de maintenance corrective ou préventive. Alors que classiquement, les dates de maintenance préventive étaient préalablement déterminées en fonction de critères incluant des facteurs économiques, la migration vers des approches conditionnelles ou prévisionnelles pour un remplacement au plus près de l'état de santé du système ne permet plus de les connaître avec précision, voire pire pour le fournisseur, qui n'a généralement pas accès aux diverses données de fonctionnement de la machine, de les rendre totalement aléatoires. Cela peut conduire à des niveaux de stocks plus élevés pour améliorer la désynchronisation avec la demande. D'autre part, le prix croissant des pièces de rechange incite à limiter ces mêmes niveaux de stocks, dont le taux de rotation est relativement faible par rapport à la taille de la base installée, car les biens peuvent être considérés comme fiables. De plus, il n'est pas possible pour le fournisseur de faire augmenter "artificiellement" ce taux de rotation par le biais du marketing ou de la publicité, ce qui est faisable pour d'autres types de produits.

Enfin, la différence majeure est liée aux modèles de prévision de la demande qui doivent essayer de capturer une très grande sporadicité ainsi que d'éventuels pics de demande dus par exemple à des problèmes de qualité, ces pics étant très difficiles à prévoir et donc à gérer par les entreprises.

- **La structure de la chaîne logistique de pièces de rechange**

En matière de structure, la chaîne logistique des pièces de rechange est constituée d'une portion de fournisseurs qui peuvent être internes ou externes, proposant des pièces de rechange à la demande du service d'approvisionnement. Ces pièces sont ensuite stockées dans la deuxième partie de la chaîne logistique, à savoir les entrepôts de stockage centraux qui, contrairement à une chaîne logistique classique, sont répartis en deux parties :

1. le stock en état de fonctionnement ;
2. le stock défectif.

Les entrepôts centraux approvisionnent les entrepôts régionaux, qui à leur tour livrent les pièces à la demande des techniciens de maintenance. A la suite d'une intervention, dans le cas de pièces de rechange réparables, les techniciens renvoient les pièces défectueuses récupérées sur les systèmes des clients directement aux entrepôts centraux, et non aux entrepôts régionaux. Ces pièces défectueuses sont stockées dans la zone spécialisée pour

l'inventaire BOH (Bad on Hand). Si nécessaire, ce stock défectueux est ensuite envoyé pour réparation dans des centres de réparation internes ou externes, selon le cas et les avantages ou inconvénients pour chaque entreprise.

- **Le nombre de références de pièces de rechange** Le fait qu'il existe un nombre assez important de références est l'une des particularités de la chaîne logistique des pièces de rechange.

2.2 Vocabulaire relatif à la maintenance

Le concept de maintenance, encore considéré comme une fatalité avérée par les gestionnaires, est une démarche ou plutôt une adéquation d'un ensemble d'activités visant à maintenir à un degré convenable les moyens de production à un prix optimal à satisfaire la disponibilité et la sécurité des équipements. La maintenance s'impose impérativement dans la fonction de gestion de la production et nécessite des décisions pour que ses objectifs, préalablement définis, soient atteints.

2.2.1 Définition et typologies de maintenance

La maintenance est l'ensemble des opérations (dépannage, lubrification, inspection, réparation, amélioration, ...) qui permettent de maintenir le potentiel de l'équipement dans un état stable afin d'assurer la continuité de son fonctionnement et la qualité de la production dans des conditions sûres.

On distingue 2 types de maintenance, une maintenance corrective et un autre préventive.[38]

Maintenance corrective

Selon la définition AFNOR (norme X 60-010), la maintenance corrective est l'opération de maintenance effectuée après défaillance. En outre, c'est l'ensemble des activités réalisées après défaillance d'un bien ou dégradation de sa fonction, afin de lui permettre d'accomplir, au moins provisoirement, une fonction requise.

Maintenance préventive

C'est la maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation.

- **Maintenance préventive systématique**

La maintenance systématique est une opération de maintenance effectuée par un technicien de manière régulière selon un certain cycle de temps. En général, sa fréquence est déterminée par le fabricant, mais elle peut aussi être ajustée en fonction de l'utilisation qui en est faite. Ainsi, les opérations de maintenance systématique peuvent être effectuées toutes les trois semaines de fonctionnement ou en fonction d'autres variables (nombre de cycles, pièces produites, etc.). Dans certains cas, l'opération peut être programmée en fonction de l'historique des pannes ou des défaillances, sur la base de données historiques ou de l'expérience du personnel.

- **Maintenance préventive conditionnelle**

La maintenance conditionnelle est également une opération de maintenance préventive. Cependant, elle n'est effectuée que lorsqu'elle est vraiment nécessaire. Elle se base sur des données réelles et des indicateurs qui permettent de suivre l'état de l'équipement. Si une machine présente régulièrement une perte de rendement ou des signes de baisse d'efficacité, cela signifie que la maintenance doit être planifiée rapidement.

2.2.2 Le concept de disponibilité

il représente l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de son organisation de maintenance, à être en état d'exécuter une fonction requise dans des conditions de temps spécifiées.

2.3 Principes Fondamentaux de la Prédiction de la Demande

La prédiction est une technique qui utilise des données historiques comme données d'entrée pour faire des estimations informées qui sont prédictives pour déterminer la direction des tendances futures. Souvent utilisé pour déterminer

l'allocation de budgets ou pour planifier les dépenses anticipées pour une période à venir. Il existe deux principales stratégies de prévision :

- **Stratégie Top-Down** : Consiste à faire des prévisions à partir des données regroupées partir de leur comportement, avant de faire une désagrégation.
- **Stratégie Bottom-Up** : Consiste à faire des prévisions pour les différents produits distinctement avant de procéder à une agrégation.

Avant de réaliser des prévisions, il est important de déterminer son horizon, s'il s'agit de planifier l'activité opérationnelle immédiate, c'est des prévisions à court terme. Contrairement à la prévision à moyen terme, celle-ci ne sert pas les activités tactiques notamment les budgets et plans annuels. Quant à la prévision à long terme, elle concerne les décisions d'investissement ou de lancement de produits ou services avec une portée qui dépasse les 2 ans.

La science et l'art qu'est la prévision appartient à la branche de l'analyse des données qui se divise en 2 principales parties en fonction de la nature des outils utilisés.

D'abord, la statistique, qui consiste à faire correspondre les données avec un modèle prédéterminé dont les paramètres varient. L'approche adopte généralement la démarche de poser l'hypothèse que les observations suivent une distribution connue, puis de tester cette dernière.

Ensuite, Le Machine Learning, qui est une méthode d'auto-apprentissage, à savoir une intelligence artificielle permettant à la machine de générer des estimations ou des prévisions dont les performances s'améliorent avec l'augmentation du volume de données rencontrées.

On peut distinguer également les méthodes de prévision qualitatives, qui se basent sur des données subjectives et fait appel à l'expertise des responsables, manager ou opérateur, et sa fiabilité dépend de ces acteurs. La méthode la plus connue est la Delphi qui consiste à poser une série de questions à un cercle permanent d'experts plusieurs fois de suite. Malgré son coût moindre et le peu de technologie qu'elle nécessite, cette technique de prévision est peu recommandée en raison de sa subjectivité.[12]

2.3.1 Méthode de prévision statistique

Fondée sur un traitement statistique du comportement et de l'évolution de données historiques, notamment des séries chronologiques et/ou les liaisons et relations entre les variables de l'environnement.

Cette méthode permet d'établir une relation de cause à effet entre une variable expliquée sites endogènes à prédire et ces variables explicatives dites exogènes notes souvent Y_t et X_{nt} respectivement. Ainsi, on peut distinguer deux classes de méthode quantitatives [22]: (*Figure 2.4*)

- **Les méthodes causales** : qui tire son nom de la relation de cause à effet permettant d'établir cette relation entre des variables exogènes pour expliquer une variable endogène afin de la prédire.
- **Les méthodes auto-projectives** : qui concernent les séries chronologiques et permettent de prévoir une variable en fonction du temps et de son historique.

Chacune de ces catégories représente le point de départ des méthodes de planification de la demande en matière de gestion industrielle, intervenant dans l'élaboration de prévisions à moyen et à court terme.

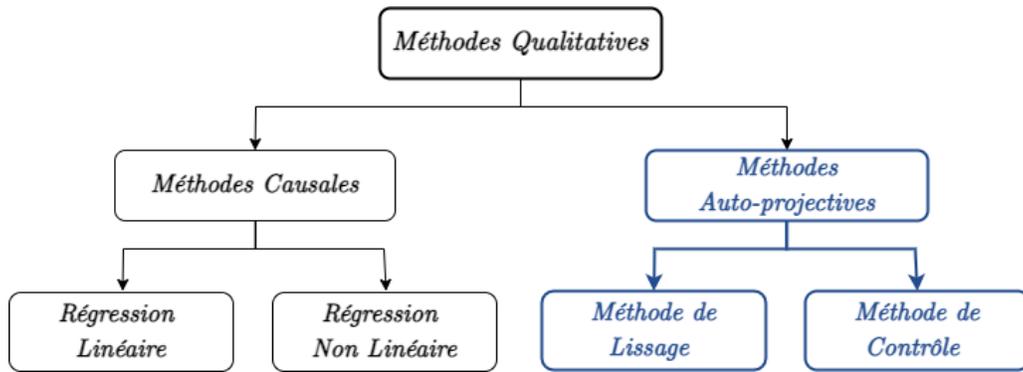


Figure 2.4: Différents types d'approches quantitatives de prévision

Les méthodes auto-projectives

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

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

Où S : fonction de saisonnalité ; M : fonction de tendance ; U : fonction aléatoire

Ces méthode oeuvre à calculer le Y_{t+h} le plus fiable et passe par plusieurs étapes illustrées sur la (Figure 2.5)

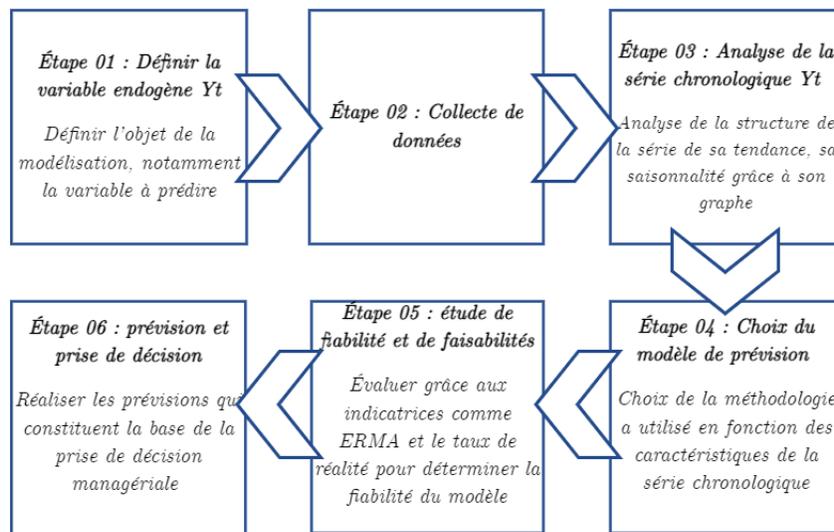


Figure 2.5: Étape de prévision avec Méthodes auto-projectives

Les méthodes auto-projectives se divisent en deux catégories :

Les techniques de lissage

Les techniques de lissage sont les plus fréquemment employées pour des prévisions à court terme. Elle consistent à distinguer entre les fluctuations aléatoires et la loi de base des données en utilisant des filtres linéaires sur les valeurs historiques et éliminer ces variations.[23]

Un filtre linéaire f est une combinaison linéaire de s anciennes données de la série chronologique initiale. Les deux grandes familles de filtres utilisées sont :

- **Moyenne Mobile**

Une des techniques les plus élémentaires, elle consiste à prédire la demande en calculant la moyenne des N dernières valeurs historique. Elle est conçue pour les produits à faible variance, et son expression est la suivante :

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

Avec P_t : Prévision pour la période t ; D_t est la demande réelle pour la période t et N le nombre de périodes prises en compte, généralement calculé comme suite : $N = \frac{1}{5}n_b$; Avec n_b le nombre de périodes.

- **Lissage exponentiel simple**

Ce lissage permet une pondération particulière des données passées. Il est adéquat avec les séries sans saisonnalité ni tendance apparentes (séries stationnaires). Son modèle est le suivant :

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

Où α , le coefficient de lissage ($0 < \alpha < 1$).

- **Lissage exponentiel double**

Connu sous le nom du lissage de Brown. Ce modèle consiste à effectuer le même lissage précédent à une série déjà lissée. offrant un nouvel avantage puisqu'elle prend en compte le caractère tendanciel de la série chronologique mais en faisant quand même abstraction du caractère saisonnier de celle-ci, son expression est la suivante :

$$P_{t+h} = a_{0t} + a_{1t}.h$$

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

Ces coefficients sont donnés par :

$$\begin{aligned} a_{0t} &= \alpha D_t + (1 - \alpha)(a_{0t-1} + a_{1t-1}) \\ a_{1t} &= \beta(a_{0t-1} + a_{1t-1}) + (1 + \beta)a_{1t-1} \end{aligned}$$

β : le coefficient de lissage de la tendance.

- **Lissage exponentiel triple (Holt-Winter)**

Traitant des séries homogènes en tendance et saisonnalités, elle est considérée comme une amélioration des techniques de lissage exponentiel et de la moyenne mobile.

Elle Comporte 3 paramètres à estimer : paramètre de tendance, paramètre de variation et paramètre de saisonnalité. Sa forme additive est la suivante :

$$\begin{aligned} P_{t-h} &= (a_{0t} + a_{1t}.h).S_{t-p+h} && \text{Si } 1 \leq h \leq p \\ P_{t-h} &= (a_{0t} + a_{1t}.h).S_{t-p+3h} && \text{Si } p + 1 \leq h \leq 2p \end{aligned}$$

Où P_{t-h} : Prévision pour la période $t + h$; h : horizon de la prévision ; D_t : Demande réelle à la période t ; a_{0t} : Moyenne lissée de la série en t ; a_{1t} la pente de la tendance estimée en t ; S_t est le coefficient saisonnier en t . ces coefficients sont représentés comme suit :

$$\begin{aligned} a_{0t} &= \alpha \frac{D_t}{S_{t-p}} + (1 - \alpha)(a_{0t-1} + a_{1t-1}) \\ a_{1t} &= \beta(a_{0t-1} + a_{1t-1}) + (1 + \beta)a_{1t-1} \\ S_f &= \gamma \frac{D_t}{a_{0t}} + (1 - \gamma)S_{t-p} \end{aligned}$$

Avec :

α : Coefficient de lissage de la moyenne ; β : Coefficient de lissage de la tendance ; γ : Coefficient de lissage de saisonnalité.

Les techniques de contrôle

- **Concept de stationnarité** : Une série chronologique est dite stationnaire si elle ne comporte ni tendance, ni saisonnalité ou autre facteur évoluant avec le temps. D'une manière plus formelle une série stationnaire X_t pour $t = 1, \dots, T$ se définit par ses caractéristiques stochastiques invariantes, elle doit donc vérifier les conditions suivantes:

- $E(Y_t) = \mu$ pour toute valeur de t .
- $Var(Y_t) = \sigma^2$ pour toute valeur de t .
- $Cov(Y_t, Y_{t+k}) = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] = Y_k$ pour toute valeur de t . Quant à la série (ϵ_t) , qui représente le résidu, est un Bruit-Blanc si :
 - * $E(\epsilon_t) = 0$ pour toute valeur de t .
 - * $Var(\epsilon_t) = \sigma^2$ pour toute valeur de t .
 - * $Cov(\epsilon_t, \epsilon_{t+k}) = 0$ pour toute valeur de t .

Dans le cas contraire, la série est non stationnaire et elle peut être de 2 types :

- **Type DS (Differency Stationary)** s'écrit :

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

Avec β constante.

Ce type de processus peut être stationnarisé par l'utilisation d'un filtre aux différences.

- **Type TS (Trend Stationary)** s'écrit sous la forme :

$$X_t = f_t + \epsilon_t$$

Où f_t est une fonction polynômiale du temps, linéaire ou non linéaire et ϵ_t représente l'erreur du modèle à la période t , il peut être stationnariser en retranchant la valeur estimée $\alpha + \beta_t$, grâce à la méthode des moindres carrés ordinaires (Méthode de prévision causal)

- **Test de Dickey Fuller simple**

Le test de racine unitaire de Dickey-Fuller [40] est un test statistique qui vise à savoir si une série temporelle est stationnaire. Au cours de ce test, nous supposons que l'erreur de la série (ϵ_t) suit une voie normale. Les modèles servant de base à la construction de ce test sont au nombre de trois :

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

Les hypothèses du test sont les suivantes :

- $H_0 : \phi_1 = 1$: la série est non stationnaire \Leftrightarrow existence d'une racine unitaire
- $H_1 : \phi_1 < 1$: la série est stationnaire \Leftrightarrow absence de la racine unitaire

Avec : ϕ_1 : la racine unitaire ; c : la constante ; b : coefficient de la tendance ; ϵ_t : l'erreur prévisionnelle à bruit blanc.

Il existe une version du Test de Dickey-Fuller Augmenté, qui est similaire au précédent mais ne suppose pas que l'erreur est à Bruit Blanc. Le schéma suivant (*Figure 2.6*) récapitule l'ensemble des étapes à suivre lors du test de racine unitaire de Dickey Fuller :

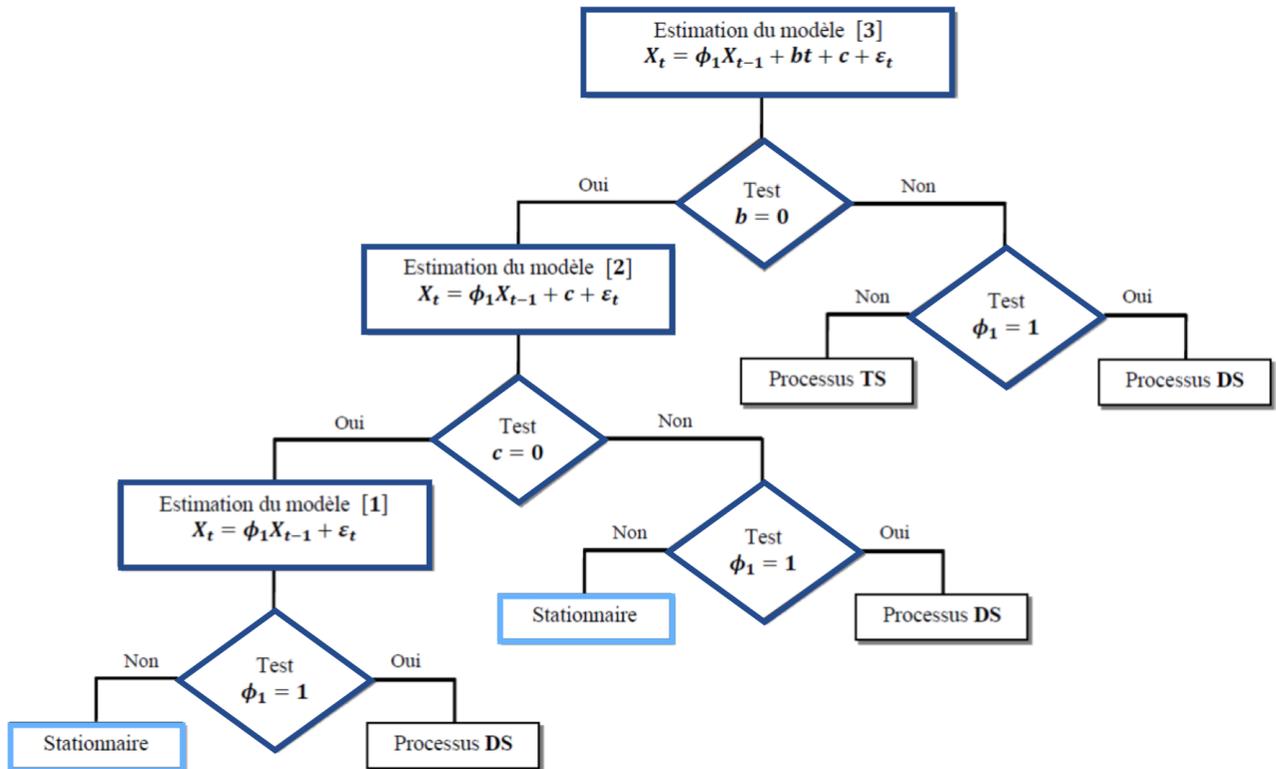


Figure 2.6: Stratégie du Test de Dickey-Fuller

- **Box Jenkins (BJ)**

La méthode de prévision de Box Jenkins (BJ) permet de traiter des séries chronologiques perturbées et beaucoup plus complexes que celles des méthodes de lissage. Elle est l'une des plus fréquentes qu'un prévisionniste rencontre lorsqu'il utilise un logiciel de prévision programmé.

Le modèle de Box-Jenkins prévoit les données en utilisant trois principes : l'auto régression, la différenciation et la moyenne mobile. Ces trois principes sont connus sous les noms de p, d et q, respectivement. Chaque principe est utilisé dans l'analyse de Box-Jenkins ; ensemble, ils sont désignés par ARIMA (p, d, q).

Un modèle ARIMA peut être compris en décrivant chacun de ces composants comme suit :

- Auto-régression (**AR**) : fait référence à un modèle qui montre une variable changeante qui régresse sur ses propres valeurs décalées, ou antérieures.
- Intégré (**I**) : représente la différenciation des observations brutes pour permettre à la série chronologique de devenir stationnaire, c'est-à-dire que les valeurs des données sont remplacées par la différence entre les valeurs des données et les valeurs précédentes.
- Moyenne mobile (**MA**) : incorpore la dépendance entre une observation et une erreur résiduelle provenant d'un modèle de moyenne mobile appliqué à des observations décalées.

Le processus d'autorégression (p) teste le niveau de stationnarité des données. Si les données utilisées sont stationnaires, cela peut simplifier le processus de prévision. Si les données utilisées ne sont pas stationnaires, elles devront être différenciées (d). L'adéquation des données à la moyenne mobile est également testée. Globalement, l'analyse initiale des données les prépare à la prévision en déterminant les paramètres (p, d et q), qui sont ensuite appliqués pour élaborer une prévision.

La procédure de prévision avec la méthode de Box-Jenkins nécessite le passage par plusieurs étapes schématisés sur la *Figure 2.7*

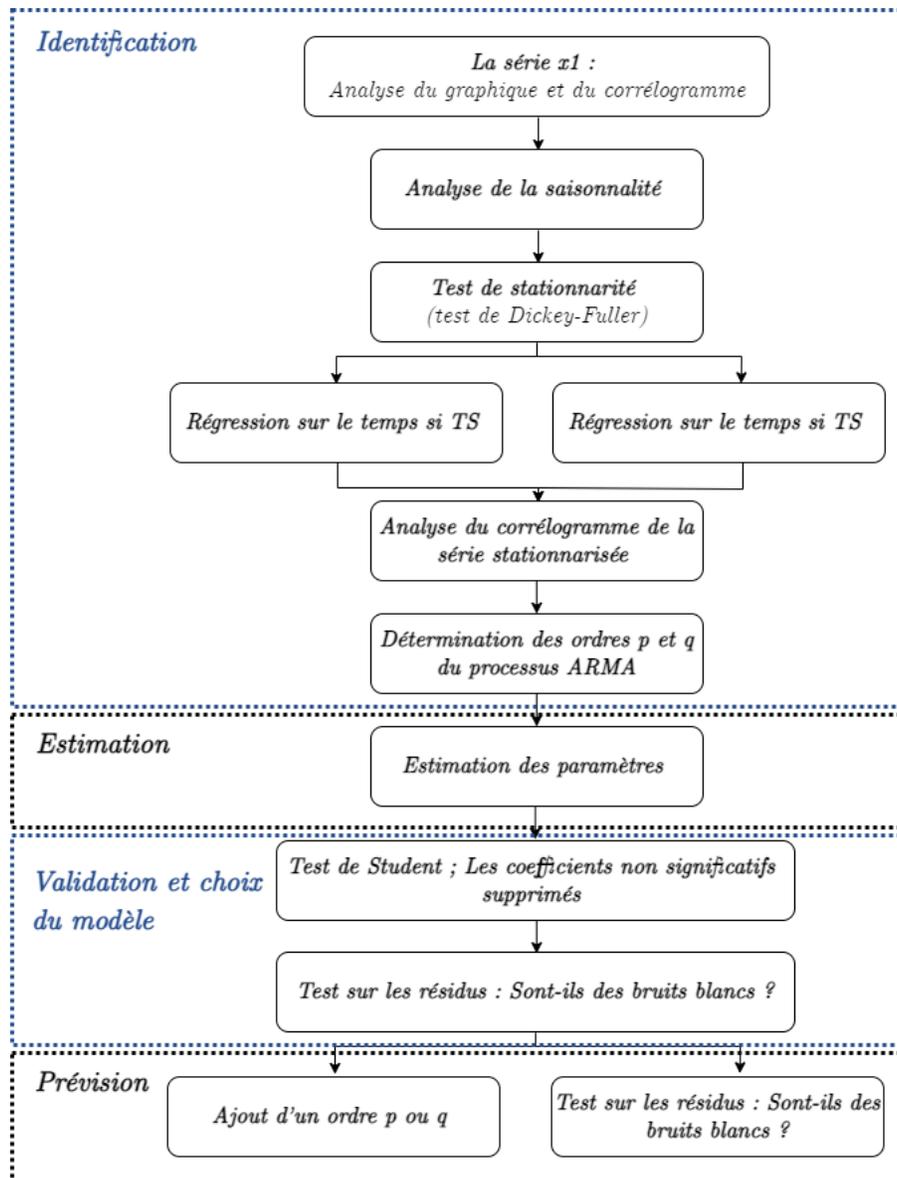


Figure 2.7: Methodologie de box-jenkins

Pour conclure cette partie un tableau en *Annexe F* résume les éléments de comparaison permettant d'identifier selon le contexte et les paramètres des données, la meilleure méthode quantitative pour la réalisation des prévisions.

2.3.2 Prévisions basées sur le Machine learning

Les algorithmes de prévision d'apprentissage automatique utilisent des techniques qui impliquent des caractéristiques et des méthodes de prédiction plus complexes, même si l'objectif reste le même que celui des méthodes traditionnelles notamment améliorer la précision des prévisions tout en minimisant une fonction de perte.

La différence la plus significative entre les deux méthodes réside dans la manière de les minimiser, car la plupart des méthodes ML (Machine Learning) utilisent des techniques non linéaires pour minimiser les fonctions de perte contrairement au méthode statistique .

On peut citer les exemples de modèles de prévision ML utilisés suivants :

- Réseau neuronal artificiel
- Réseaux neuronaux de régression généralisée

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

La prévision fondée sur l'apprentissage automatique passe par une succession d'étapes de la préparation et récolte de données jusqu'à la construction du modèle et la sélection de ce dernier en passant par l'entraînement de celle-ci avec des données divisées en 2 segments celui du test et celui de l'entraînement la figure suivante (Figure 2.8) montre les 9 grandes étapes de la prévision machine learning.

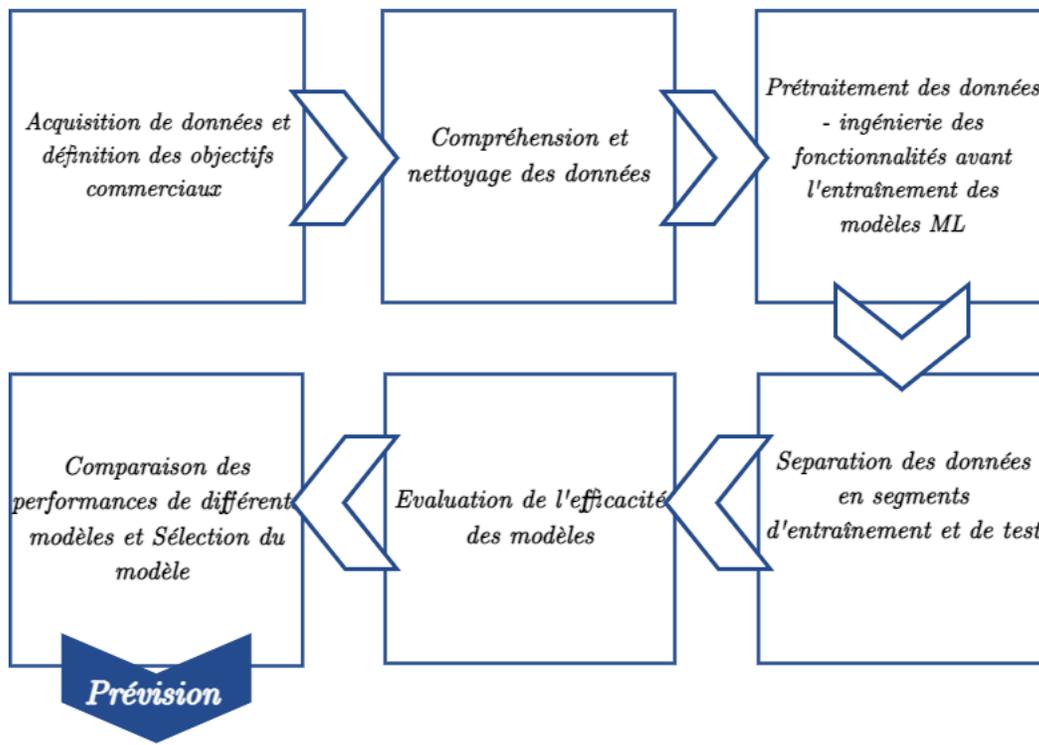


Figure 2.8: Etapes de la prévision machine learning

Facebook Prophet

Facebook Prophet est un algorithme open-source de prévision basé sur l'apprentissage automatique des modèles de séries temporelles qui utilisent quelques vieilles idées avec de nouvelles tournures.[13]



Figure 2.9: Facebook Prophet logo

Cet algorithme présente de multiples avantages :

- Précis et rapide : Prophet est utilisé dans de nombreuses applications sur Facebook pour produire des prévisions fiables pour la planification et la fixation d'objectifs.

- Entièrement automatique, Prophet est robuste aux valeurs aberrantes, aux données manquantes et aux changements les séries chronologiques.
- Disponible en R ou **Python**

Annexe G contient le code python nécessaire à l'utilisation de prophète et montre les fonctions qu'offre cet outil au cours des différentes étapes de prévision.[41]

Fiabilité des prévisions

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

Table 2.1: Indicateurs de Fiabilité des prévisions

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

Ou F_t : Prévision de de l'endogène a la preiode t ; Y_t : Valeur réelle de l'endogène a la période t

2.4 Problèmes de planification

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

1. **Détection d'anomalies** : Discerner l'existence de problèmes et la sous-optimalité de la méthode actuelle de travail.
2. **Définir le problème** : Cerner et identifier la problématique en matière d'alternatives de décision, de critères d'évaluation, d'objectifs, de variables exogènes, de variables endogènes et de contraintes.
3. **Construire un modèle de planification** : décrire et concevoir de manière abstraite mais fiable un phénomène réel avec des variables et des contraintes, en vue de l'analyser pour comprendre son fonctionnement et pour prévoir ; en utilisant une ou plusieurs théories ; des résultats avec une certaine marge d'erreur.
4. **Résoudre le modèle** : Trouver la solution du modèle grâce aux algorithmes de programmation mathématique.
5. **Valider les solutions obtenues** : approuver la solution grâce à une analyse de sensibilité et des tests rétrospectifs.
6. **Mettre en œuvre une solution** : Par implémentation unique ou itérative

2.4.1 Planification de la demande en pièces de rechange

Comme tous les problèmes de planification, la problématique de la planification des pièces de rechange a fait l'objet de plusieurs apports dans la littérature. De nombreux modèles de décision ont été conçus pour l'identification, la planification et le contrôle de l'inventaire des pièces de rechange pour les systèmes soumis à des stratégies de maintenance et remplacement préventif et correctif, en tenant compte des contingences d'approvisionnement, des exigences de service et des contraintes budgétaires. Ces méthodes d'approvisionnement dépendent de plusieurs facteurs influençant la décision du gestionnaire.

La planification de la demande ou Demand Planning est un processus stratégique qui concerne toutes les entreprises

confrontées à des problèmes de stocks et de réapprovisionnement.

Pour les entreprises qui doivent s'approvisionner en pièces de rechange, les facteurs impliqués dans le réapprovisionnement tels que la demande, le délai de livraison, les coûts, etc. sont rarement connus avec certitude. Pour compenser ces différentes fluctuations, la pratique courante est de conserver un stock de sécurité et de mettre en place un système de contrôle qui répond à la demande en suivant l'évolution des stocks et en gérant les approvisionnements tout en optimisant les coûts associés. Plusieurs modèles sont proposés afin de répondre à la problématique de la planification de la demande et la gestion de l'approvisionnement en pièces de rechange.

2.4.2 Modèles de planification de la demande en pièces de rechange

Le Modèle classique

La nature des données dont dispose le gestionnaire est un critère important pour déterminer le modèle de décision et résoudre le problème de la planification de la demande. Dans de nombreux cas de consommation régulière, comme les fournitures et les pièces détachées, et les besoins de maintenance préventive, la demande peut être facilement estimée. Pour ce faire, le gestionnaire possède toutes les informations nécessaires sur un horizon temporel suffisamment long, tandis que le système étudié peut s'adapter à cet univers déterministe, ce qui permet de planifier juste ce qui est nécessaire. La méthode la plus simple et la moins réaliste est connue sous le nom de "*Economic Quantity to Order (EQO)*". Le profil de la consommation et le délai de livraison sont connus et restent inchangés sur l'horizon de planification. Le modèle mathématique décrivant l'équilibre des coûts est connu par la formule de Wilson (Harris et al (1912)). Il s'agit d'une pondération des coûts de stockage et des coûts de commande :

$$Q = \frac{2 \cdot K \cdot D}{G}$$

Avec : Q : quantité optimale de la commande D : demande annuelle de la matière première concernée K : coût associé à chaque commande passée G : coût de stockage dans l'entrepôt d'une unité de produit pendant une période précise.

Modèle jumelé

Pour les pièces de rechange dont les coûts d'acquisition et de stockage sont très élevés, la consommation irrégulière et erratique, voire intermittente, et l'inactivité coûteuse qui en résulte, une stratégie conjointe est fortement recommandée. L'engagement optimal des ressources tout en considérant les contingences de production, de maintenance et de réapprovisionnement est plus performant.

De nombreux modèles de décision servant à calculer les quantités de pièces à réapprovisionner et les stocks de sécurité soumis à des stratégies de maintenance corrective et préventive ont été proposés. Prenons l'exemple de Michell (1962), qui propose un modèle qui détermine le point de commande d'une pièce de rechange soumise à un remplacement en cas de défaillance. L'objectif est de réaliser un compromis entre les coûts de stockage et les coûts d'inactivité de l'équipement. Le délai de livraison est censé être connu à l'avance. L'estimation moyenne des coûts de pénurie et de stockage est fonction de la fiabilité de l'équipement. Ce modèle est le mieux adapté à un système qui arrive à maturité (taux de défaillance constant), qui présente une criticité élevée avec des coûts d'inactivité et de stockage très élevés, et dont les coûts de commande sont faibles ou négligeables par rapport au prix de la pièce de rechange.[14]

Modèles basés sur la théorie Des files d'attente

Les modèles d'approvisionnement par lot ou par unité vus jusqu'à présent utilisent tous des politiques de réapprovisionnement classiques. L'estimation des besoins est basée sur la loi de dégradation du composant en supposant que la pièce défaillante ne soit pas réparable (consommable), et le modèle de décision ne considère qu'un seul composant considéré comme critique. Sachant que la réalité au niveau industriel est beaucoup plus compliquée, la majorité des défis des entreprises réside dans la gestion des pièces réparables qui sont à la fois complexes, coûteuses et difficiles à gérer.

Schématiquement, le processus est représenté par une boucle de réparation et de défaillance. Si une pièce tombe en panne, elle est immédiatement remplacée par une pièce de rechange prête à l'emploi si elle est disponible en stock. La pièce défaillante est acheminée vers l'atelier de réparation pour la remettre en état de marche. Ces modèles sont difficiles à résoudre en raison de la complexité du réseau et de la prise en compte du phénomène d'attente.

En prenant l'exemple d'un système qui est considéré comme une des premières parutions dans le domaine de la

gestion des pièces de rechange et qui est le modèle METRIC, Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control, initié par Sherbrooke (1968)[15]. Le modèle METRIC considère un système d'inventaire des pièces réparables à deux échelons. Il traite une gamme de composants de taille et de capacité de réparations infinies. le processus de défaillance et de réparation des pièces utilise la théorie des files d'attente est schématisée suit : (Figure 2.10)

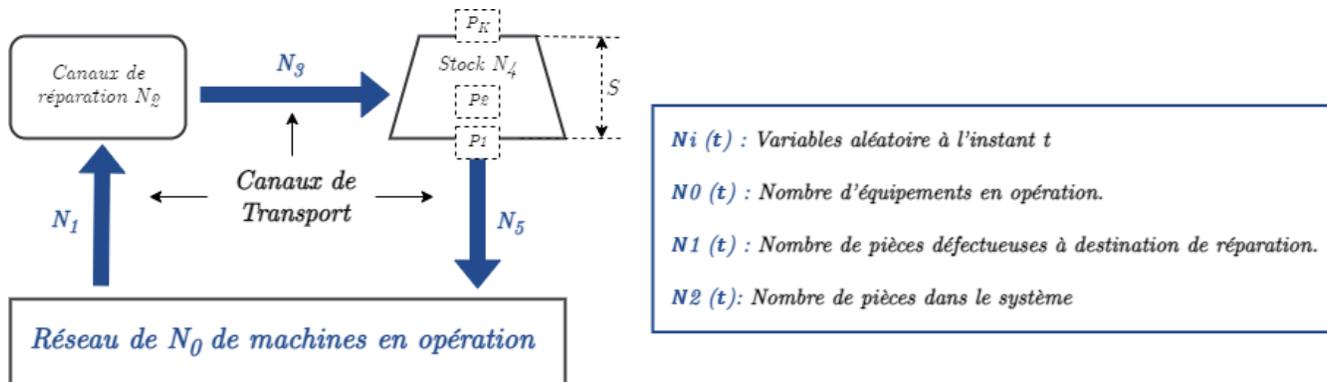


Figure 2.10: Processus de défaillance et de réparation

Modèle de gestion avec possibilité de passer des commandes en urgence

Dans la gestion des pièces de rechange, l'intégration du processus d'urgence peut réduire le risque de pénurie de stocks. Plusieurs études ont montré que l'utilisation de commandes d'urgence peut entraîner une réduction considérable des commandes en souffrance et une augmentation des niveaux de services. Elles indiquent qu'une livraison d'urgence (réparation) peut être modélisée comme une demande perdue, qui serait satisfaite par une autre source en dehors du système de file d'attente, c'est-à-dire que la proportion perdue de toutes les pièces défectueuses arrivant dans le système sera traitée (réparée ou commandée) par un canal externe plus efficace mais plus coûteux.

Modèles de gestion avec possibilité de transferts latéraux

Gestion des stocks avec possibilité de réapprovisionnement latéral. Ce problème est abordé selon deux approches distinctes :

- Transferts latéraux d'urgence (Emergency Lateral Transshipments-ELT) : Réactive, elle répond à une actuelle rupture de stock ;
- Transferts latéraux préventifs (Preventive Lateral Transshipments- PLT): Proactive, elle réduit le risque d'éventuelle rupture de stock.

Plusieurs publications (Axsäter (1990), Alfredsson et Verrijdt (1999), Kutanoglu, et Mahajan (2009), Yang et Dekker (2010)) notent que cette pratique permet d'augmenter les niveaux de services et d'économiser de l'argent. Elles considèrent un système d'inventaire à deux échelons, les demandes étant satisfaites soit par une livraison immédiate, soit par l'attente de pièces en transit, soit par des transferts latéraux. Des procédures itératives ont été développées en tenant compte des possibilités d'échanges latéraux entre les stocks d'un même échelon pour calculer les proportions de la demande à satisfaire. Une observation selon laquelle la distribution exponentielle du temps de réparation (livraison) par échange latéral n'a aucun impact sur les résultats finaux et donc sur la performance globale du réseau.[16][17][18][19]

Modèle de gestion fondée sur le risque

L'approche présentée ici est récente et répond au contexte actuel de la demande et de l'offre de pièces de rechange, où le risque de rupture de stock est un facteur déterminant.

Le risque est la combinaison de la probabilité d'une rupture de stock et de ses conséquences, tel qu'une rupture de stock correspond à un événement où une pièce de rechange n'est pas disponible sur demande.

L'analyse qualitative des risques englobe les méthodes qui utilisent le jugement et l'expérience des ingénieurs comme base de l'analyse des probabilités et des conséquences.

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (**AMDEC**) et les études de dangers et d'exploitabilité (**HAZOP**) sont des exemples d'analyse qualitative des risques. Ces techniques prennent un caractère quantitatif lorsque les conséquences et les valeurs de probabilité de défaillance sont estimées en termes numériques. L'analyse quantitative des risques consiste généralement à :

1. identifier les combinaisons d'événements qui, s'ils se produisent, conduisent à un événement indésirable;
2. calculer la fréquence d'occurrence de chaque combinaison ;
3. calculer les conséquences.

L'approche sur laquelle repose ce modèle est semi-quantitative et prend en compte les meilleures estimations des experts ainsi que des données historiques brutes. Le risque de rupture de stock dont il est question ici est un risque relatif, c'est-à-dire le risque de rupture de stock d'un composant ou d'un équipement les uns par rapport aux autres.

Un profil de risque pour les pièces de rechange est obtenu en considérant la probabilité de ne pas répondre à la demande d'une pièce de rechange en conjonction avec les conséquences de ne pas répondre à cette demande. Ce profil de risque est ensuite utilisé pour trouver le niveau de stock optimal afin de maximiser le bénéfice financier en fonction d'un niveau de risque acceptable.[20][21]

2.4.3 Programmation linéaire

La programmation linéaire est une technique de modélisation mathématique dans laquelle une fonction linéaire est maximisée ou minimisée lorsqu'elle est soumise à diverses contraintes. Utile pour guider les décisions quantitatives dans la planification des affaires.[37]

La solution d'un problème de programmation linéaire consiste à trouver la valeur optimale notamment la plus grande ou la plus petite, selon le problème, de l'expression linéaire appelée fonction objectif. il prend la forme suivante :

$$\mathbf{Fo : } Z(\mathit{Max}) = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Sous contraintes

$$a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{n1}X_n \leq b_1$$

$$a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{n2}X_n \leq b_2$$

...

...

$$a_{1m}X_1 + a_{2m}X_2 + \dots + a_{nm}X_n \leq b_m$$

Avec :

$$X_i : \text{Variable de décision, } X_i \geq 0$$

C_i , a_i et b_i sont des constantes déterminées par les capacités, les besoins, les coûts, les profits et les autres exigences et restrictions du problème. L'hypothèse de base dans l'application de cette méthode est que les diverses relations entre la demande et la disponibilité sont linéaires, c'est-à-dire qu'aucun des X_i n'est élevé à une puissance autre que 1. Pour obtenir la solution de ce problème, il faut trouver la solution du système d'inégalités linéaires (c'est-à-dire l'ensemble des n valeurs des variables X_i qui satisfont simultanément toutes les inégalités). La fonction objective est ensuite évaluée en remplaçant les valeurs des X_i dans l'équation qui la définit.[25]

Problèmes d'optimisation multiobjectif

Comme définit auparavant un problème linéaire se caractérise par : des variables de décision, des contraintes et une fonction objectif si cette dernière et au nombre de 2 ou plus il s'agit d'un problème d'optimisation multi objectif.

Dans la pratique, ces objectifs multiples sont souvent concurrents où l'amélioration de l'un entraîne la détérioration de l'autre ou des autres. Ce conflit s'explique par la relation de proposition inverse entre le coût et la qualité en générale. Ainsi, dans les problèmes multiobjectifs, l'optimum n'est plus une simple valeur comme pour les problèmes mono-objectifs, mais un ensemble de points, appelé l'ensemble des meilleurs compromis ou le front Pareto.[27]

Parmi les méthodes proposées de résolution des problèmes d'optimisation multiobjectifs on trouve :

- **Les méthodes Métaheuristiques :** Un ensemble d'algorithmes d'optimisation destinés à résoudre des problématiques d'optimisation complexes elles sont souvent inspirées des systèmes existants, qu'ils soient issus de la physique ou de la biologie évolutive.
- **Les méthodes non Pareto :** Cette méthode permet de traiter le problème non pas comme un problème multi objectifs mais transforme ces fonctions objectives initiales grâce à diverses méthodes pour ne traiter au final qu'un problème mono-objectif.
- **Les méthodes Pareto :** Les approches Pareto ne transforment pas les objectifs du problème, ils sont traités sans aucune distinction lors de la résolution.
- **Les méthodes hybrides :** Pour améliorer les performances d'un algorithme, on essaie de le combiner avec un autre. Ce principe généralement appelé hybridation, et peut-être appliqué de diverses manières.

Résolution par la méthode d'agrégation par pondération

Cette méthode se base sur l'approche non Pareto puisqu'elle consiste à jumeler les différentes fonction objectifs d'un problème pour pouvoir le résoudre en utilisant les méthodes classiques de la modélisation mathématique.[26]

Afin de combiner les fonctions elle procède dans un premier lieu à un lissage de ces dernières en les rendant toutes de même nature donc soit minimale ou maximale en utilisant le principe suivant :

$$\text{Min}f(x) = -\text{Max}f(x)$$

Ensuite et on donnait un poids w_i à chaque critère d'optimisation elle remplace les fonctions d'objectifs par la somme du produit des fonctions initiales avec leur poids tel que la somme des poids soit toujours égale à l'unité ainsi la nouvelle fonction objective a optimisé se présente comme suite:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i=0}^n w_i f_i(x) \\ & \text{tel que : } \sum_{i=0}^n w_i = 1 \end{aligned}$$

Outils informatiques de Résolution Mathématiques

La résolution manuelle de problèmes d'optimisation peut parfois s'avérer complexe, voire impossible, lorsque le nombre de variables endogènes et exogènes est important. C'est dans ces cas que l'outil informatique devient indispensable. Pour en citer quelques-uns dans le contexte :

- **CPLEX :** Initialement, CPLEX est un solveur de programmes linéaires. A ce titre, il repose donc sur une implémentation performante du simplexe primal. Il dispose également du simplexe dual et du simplexe de réseau. Il peut aussi résoudre des programmes linéaires mixtes, en combinant le simplexe, le Branch and Bound et la génération de coupes. Il intègre également une technique à base de points intérieurs et peut traiter des problèmes quadratiques. Actuellement, CPLEX est l'un des solveurs les plus performants disponibles. (Duhamel, 2009)
- **Matlab Optimization Toolbox :** L'Optimisation Toolbox propose des fonctions permettant d'optimiser les objectifs tout en répondant aux contraintes. Elle inclut des solveurs adaptés à la programmation linéaire de réels et/ou d'entiers mixtes, la programmation quadratique, l'optimisation non-linéaire et la résolution par moindres carrés non-linéaires. Ces solveurs peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes continus et discrets de manière optimale, effectuer des analyses de compromis et incorporer des méthodes d'optimisation aux différents algorithmes et applications.
- **EXCEL** est l'outil d'optimisations les plus accessibles en plus d'être le plus intuitive, Il comporte plusieurs fonctionnalités donc les suivantes :

A. Le solveur d'EXCEL

Le Solveur d'Excel est un programme d'optimisation et d'allocation de ressources puissantes, qui permet de trouver les solutions à des problèmes complexes qui exigeraient autrement une analyse mathématique avancée.

Cet outil permet d'utiliser la méthode du simplexe pour les programmes linéaires mono-objectifs en un temps record, mais propose d'autres alternatives notamment une méthode itérative qui analyse les résultats d'une solution, avant d'en essayer une autre, et ainsi de suite et c'est en examinant le comportement du programme qu'il trouve le chemin le plus court à l'essai optimal.

Le Solveur Excel apporte un nombre important d'avantages :

- Permet de spécifier plusieurs cellules ajustables (jusqu'à 200 cellules)
- Permet de définir des contraintes sur les cellules ajustables.
- Recherche en plus du résultat souhaité mais aussi le résultat optimal (Contrairement à d'autres solveur comme Goal Seek)
- Permet l'enregistrement de différentes solutions sous différents scénarios pour les problèmes complexes.

L'utilisation du Solver Excel est intuitive, les étapes suivantes concernent la résolution d'un problème de programmation mathématique.

1. Saisie des différents coefficients de notre problème, et de la fonction objectifs comme l'exemple (*Annexe H.1*)
2. Ajout du solveur a la barre d'outils en suivant le chemin : **Fichier** > **Options** > **Compléments** > **Compléments Solveur**. Après son ajout il apparaîtra sur la section données (*Annexe H.2*)
3. Insertion de la fonction objectifs et les différentes contraintes ainsi que la plage des variables de décision comme le montre le Screenshot sur la (*Annexe H.3*)
4. En cochant la méthode du simplexe on obtient les resultat optimaux (*Annexe H.4*)

B. Excel VBA

VBA est l'abréviation de Visual Basic for Applications. Excel VBA est le langage de programmation de Microsoft pour Excel et tous les autres programmes **Microsoft Office**. [28][29]

Bien que les utilisateurs ne puissent pas manipuler directement le logiciel principal d'Excel par le biais de VBA, ils peuvent toutefois maîtriser l'art de créer des macros pour optimiser leur temps dans Excel. Il existe deux façons de créer des macros Excel.

La première méthode consiste à utiliser l'enregistreur de macros. Après avoir activé l'enregistreur, Excel enregistre toutes les étapes effectuées par l'utilisateur et les sauvegarde sous la forme d'un "processus" appelé "**macro**". Lorsque l'utilisateur met fin à l'enregistreur, cette macro est sauvegardée et peut être affectée à un bouton qui exécutera à nouveau exactement le même processus lorsqu'il sera cliqué. Mais Cette méthode ne fonctionne que pour les processus simples, et n'est pas très personnalisable et que la macro imitera exactement la saisie de l'utilisateur. Par défaut, les macros de l'enregistreur utilisent également le référencement absolu au lieu du référencement relatif. Cela signifie que les macros réalisées de cette manière sont très difficiles à utiliser avec des variables et des processus.

La deuxième méthode, plus puissante, pour créer une macro Excel consiste à en coder une à l'aide de VBA.

Pour accéder à la fenêtre VBA, il suffit d'appuyer sur **Alt + F11** dans n'importe quel programme Office. Cela ouvrira une fenêtre comportant un arbre de structure de fichier en haut à gauche, des propriétés en bas à gauche, un volet de débogage en bas au centre et en bas à droite, et la section de codage qui occupe la majeure partie de l'écran au centre et en haut à droite comme le montre *la Figure 2.11*

VBA EXCEL présente divers avantages [30]:

- Automatisation des tâches répétitives
- Accessibilité aux autres utilisateurs qui ne doivent rien installer, VBA permet également d'ajouter des variables conviviales que les autres utilisateurs peuvent modifier jusqu'à un certain degré.
- Réduit la charge des formules utilisées dans les rapports Excel en les remplaçant par du code non visible
- Réduit le délai d'exécution

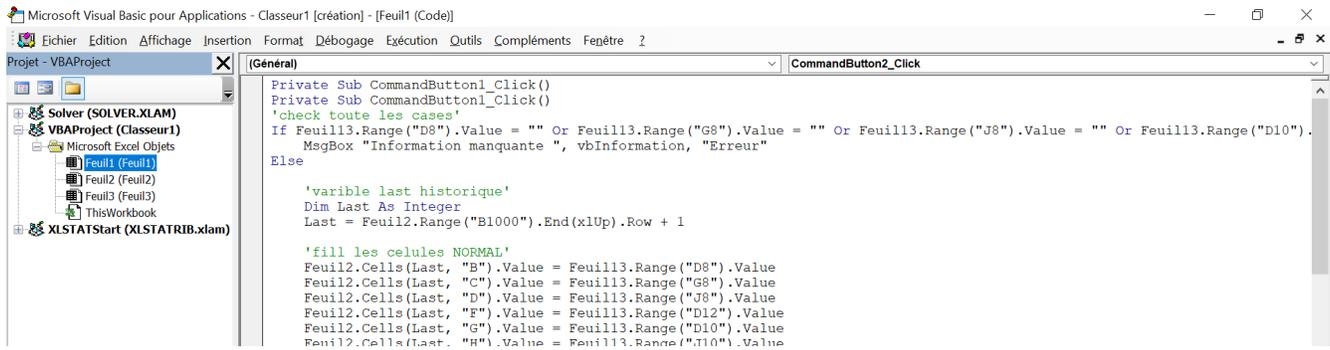


Figure 2.11: Interface Excel VBA (Screenshot)

2.5 Suivi de la performance logistique

Pour assurer le suivi et le pilotage efficace de l'activité et la performance de la chaîne logistique, il convient de se doter d'un outil de suivi et de pilotage. Ce dernier permet au responsable logistique de garder la maîtrise de son service et d'agir rapidement en cas de dérive ou encore mieux, agir préventivement, donc avant que les écarts apparaissent.

Parmi ces outils, les tableaux de bord sont le meilleur choix, offrant la possibilité de garder un œil sur les différentes évolutions des grandeurs qui peuvent refléter la nature de la performance des activités de la chaîne logistique, grâce à des visualisations efficaces et pertinentes.

Dans cette section, nous présenterons cet outil, ses typologies et les indicateurs de performance les plus appropriés, ainsi que les technologies utilisées pour leur conception.

2.5.1 les indicateurs de performance

Exploiter des données justes et fiables dans le but d'identifier les pistes d'amélioration nécessaires à la prospérité de l'entreprise est la raison pour laquelle les gestionnaires considèrent davantage les indicateurs de performance (KPI) au sein de leur processus décisionnel.

Or, pour mieux atteindre les objectifs visés, davantage d'entreprises se tournent vers des stratégies de gestion ayant pour but de récolter des données mesurables permettant d'évaluer, sur plusieurs angles, la performance de leurs opérations.

Dans la logistique, les indicateurs de suivi des niveaux de stock, du taux de service, de la rapidité et du respect des délais de livraison et plein d'autres font l'objet d'un choix qui requiert une attention particulière, car ils doivent être appropriés à la réalité du processus et reflètent l'évolution fidèle de ses objectifs.

La précision des indicateurs de performance choisis est évaluée selon des critères qui reposent essentiellement sur la pertinence des objectifs du **S.M.A.R.T** qui sont :

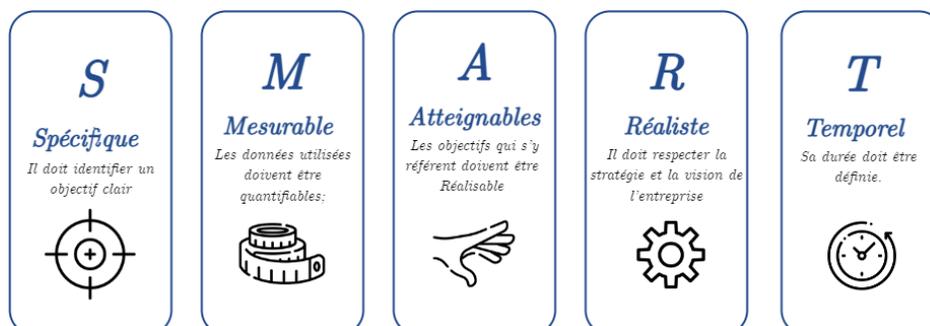


Figure 2.12: Les critères des objectifs SMART

Maintenant que la technologie peut automatiser et numériser la majorité des opérations d'une entreprise, les données qui y sont générées permettent d'obtenir des indicateurs de performance très précis. Par le biais de tableaux de bord, qui traitent les données utilisées, il est même possible de visualiser les comportements des indicateurs de performance en temps réel; ce qui simplifie les prises de décisions stratégiques qui s'imposent.

2.5.2 Définition et typologie des tableaux de bord

Le tableau de bord est un outil de gestion qui présente synthétiquement les activités et les résultats de l'entreprise par processus, sous forme d'indicateur qui permet de contrôler la réalisation des objectifs fixés et de prendre des décisions nécessaires, selon une périodicité appropriée et dans un délai limité. [32]

Il est possible de regrouper les différents tableaux de bord sous 3 grandes catégories, et ce qui les différencie, ce sont les KPI qui les constituent : KPI financiers, d'activité, de rentabilité, etc.[31]

- **Tableau de bord stratégique (TDBS)** : Il s'agit d'un tableau de bord qui regroupe de manière succincte les KPIs clés concernant la santé globale de l'entreprise. Il permet d'avoir une vue globale sur le fonctionnement général de l'entreprise et sert aux dirigeants qui ont besoin d'avoir une vue d'ensemble rapide de l'état des lieux, leur permettant ainsi de suivre les mesures de performance par rapport aux objectifs stratégiques de l'entreprise.
- **Tableau de bord tactique (TDBT)** : Appelé également tableau de bord de gestion ou tableau de bord budgétaire, il regroupe généralement les KPIs tels que les volumes des ventes, le carnet de commandes, les revenus, etc. il est davantage utilisé pour piloter le niveau de performance de la gestion de l'entreprise. Il permet donc d'évaluer les performances financières afin de les comparer aux prévisions et aux objectifs fixés au préalable. De plus, il met en évidence les données historiques afin de dégager des tendances pour ensuite prévoir les résultats et fixer des objectifs.
- **Tableau de bord opérationnel (TDBO)** : Aussi connu sous le nom de tableau de bord opérationnel, il est l'outil par excellence pour suivre et évaluer la performance des processus opérationnels d'une entreprise. Ce type de tableau de bord permet de suivre l'évolution des différents objectifs opérationnels de l'entreprise. En plus du suivi, cet outil permet d'identifier les processus internes qui fonctionnent de manière optimale, ainsi que ceux qui doivent être améliorés.

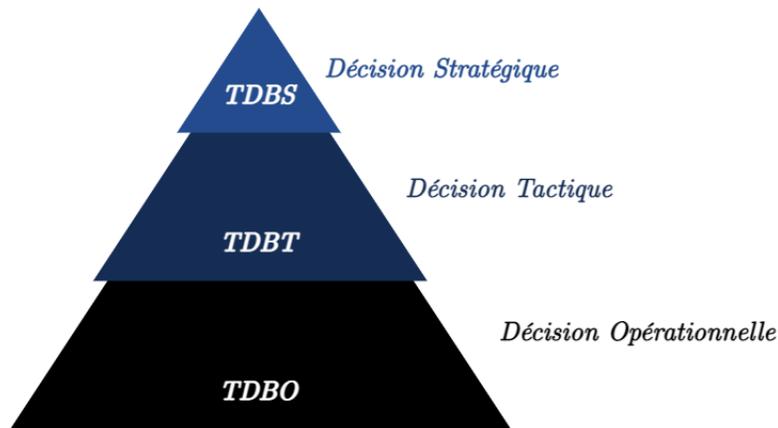


Figure 2.13: les trois types de tableau de bord et décision (La pyramide d'Ansoff)

2.5.3 Méthodologies de construction d'un tableau de bord

La mise en œuvre réussie d'un tableau de bord est complexe et nécessite un processus étape par étapes. Pour cela, il existe plusieurs méthodologies selon les besoins de l'organisme et de la nature du tableau de bord,[33][34] on peut citer les suivantes :

- **La méthode OVAR :** "Objectifs - Variables d'Action - Responsabilité " est conçue par 3 enseignants du groupe HEC. OVAR est un outil de pilotage contrairement au tableau de bord prospectif, cette méthode a pour but d'aider les dirigeants à élaborer et à déployer une stratégie à tous les niveaux. Tout en insistant sur la cohérence entre l'ensemble des domaines.

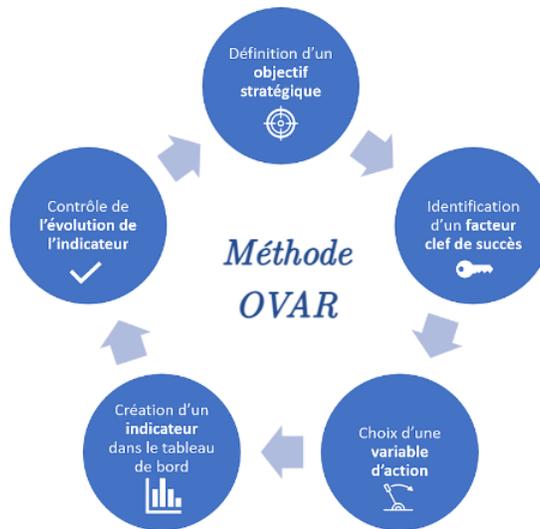


Figure 2.14: Etape de La méthode OVAR

- **La méthode de Balanced Scorecards "BSC" - Tableau de bord prospectif :** La principale prémisse de cette approche est que les paramètres de comptabilité financière que les entreprises utilisent traditionnellement pour surveiller leurs objectifs stratégiques ne suffisent pas à les maintenir sur la bonne voie. Les résultats financiers mettent en lumière ce qui s'est passé dans le passé, mais pas la direction que prend ou devrait prendre l'entreprise.

Le système de tableau de bord prospectif vise à fournir une vision plus complète aux parties prenantes en complétant les mesures financières par des paramètres supplémentaires qui évaluent les performances dans des domaines tels que la satisfaction des clients et l'innovation des produits.

- **La méthode GIMSI :** GIMSI est une méthode de conception de systèmes d'aide à la décision et plus précisément d'aide à la gestion avec des tableaux de bord de performance coopérative et des tableaux de bord de performance.

Favorisant la coopération et le partage des connaissances, la GIMSI greffe une dimension bottom up sur l'approche traditionnelle top down et l'implication et l'adéquation sont au cœur de la méthode. Elle se concentre ainsi sur la question essentielle :

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

La méthode GIMSI est structurée en 4 phases illustrées sur la *Figure 2.15*, chaque phase comporte plusieurs étapes qui marquent un seuil d'avancement du système :

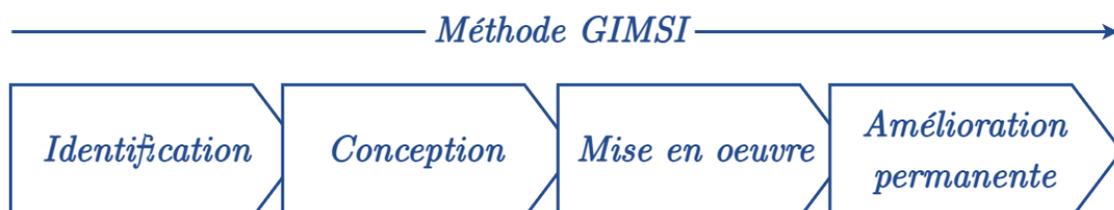


Figure 2.15: Les 4 Phase de la méthode GIMSI

1. **Identification** : Le contexte concurrentiel, forces et faiblesses de l'organisation et les axes stratégiques et des terrains d'optimisation. Cette phase se compose de 2 étapes. (Figure 2.16)

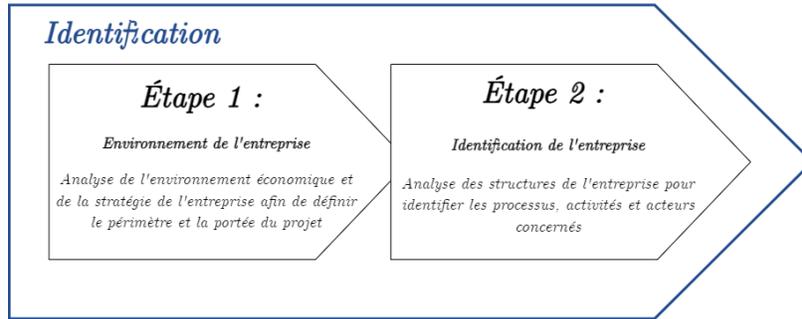


Figure 2.16: Méthode GIMSI Etapes de la Phase 1

2. **Conception** : Une phase qui définit la démarche à suivre centrée sur le décideur de terrain en situation, cette phase se compose de 5 étapes (Figure 2.17)

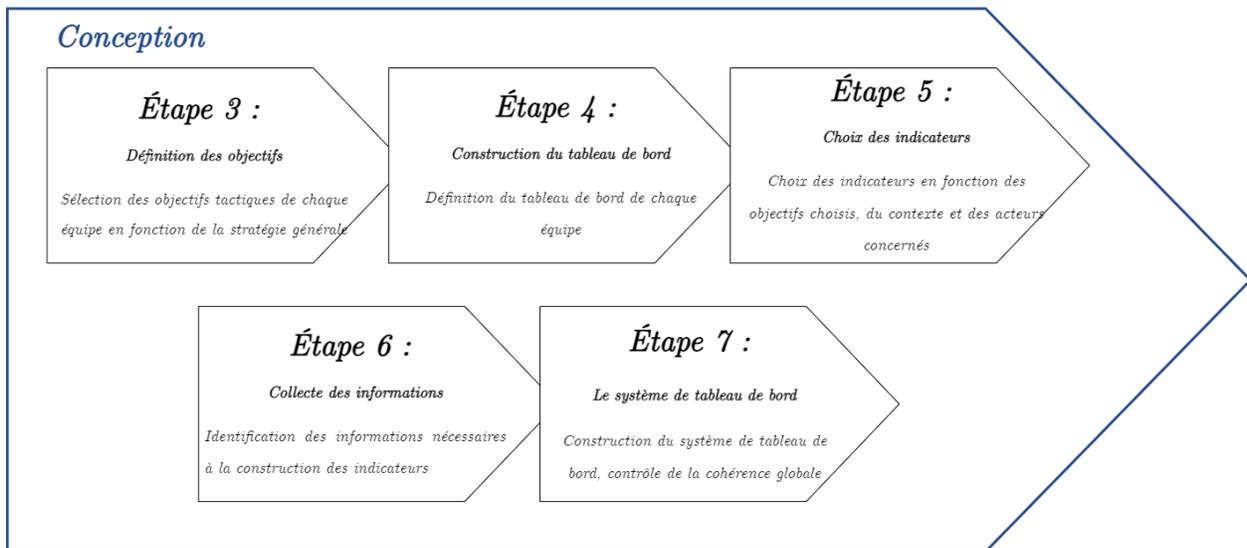


Figure 2.17: Méthode GIMSI Etapes de la Phase 2

3. **Mise en œuvre** : Indique les outils pour déployer les solutions d'aide à la décision déjà établissant, elle détermine les technologies au service des utilisateurs sur terrain, cette phase se compose de 3 étapes. (Figure 2.18)

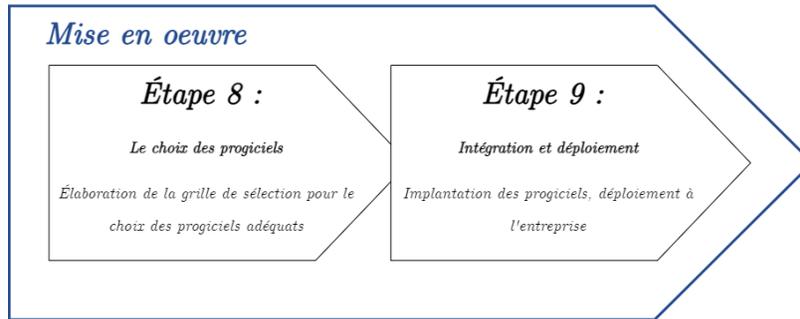


Figure 2.18: Méthode GIMSI Etapes de la Phase 3

4. **Amélioration permanente :** Consiste à mesurer la finalité du système mis en place sur une optique d'amélioration continue. (Figure 2.19)



Figure 2.19: Méthode GIMSI Etapes de la Phase 4

2.5.4 Outils technologiques de visualisation de la performance

Il existe de nombreux outils technologiques qui permettent la visualisation du suivi de la performance en entreprise. Voici quelques outils bien connus :

- **Tableau Software :** c'est une solution informatique de la Business Intelligence qui permet de visualiser et de comprendre les données. Elle offre une gamme de produits intégrés conçus pour aider les gestionnaires à visualiser et à comprendre leurs données. Le logiciel comprend trois produits principaux : Tableau Desktop, Tableau Server et Tableau Online.
- **Microsoft Power BI :** c'est une suite d'outils d'analyse permettant d'analyser des données d'entreprise et de partager des informations via des visualisations enrichies. Les tableaux de bord personnalisables et prédéfinis unissent les métriques importantes en vues uniques et affichent les mises à jour en temps réel sur chaque appareil. Il permet de créer des rapports à l'aide d'outils intuitifs pour centraliser un processus de reporting généralement dissocié. Ces fichiers de rapport peuvent ensuite être partagés manuellement comme n'importe quel autre fichier ou chargés vers le service partagé. [35]

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

- Données visuelles : permet de modéliser et de visualiser les données, de créer des rapports personnalisés avec des indicateurs de performance clé, d'obtenir des réponses rapides alimentées par l'IA aux questions commerciales, même si elles sont posées dans un langage conversationnel.
- Insights à grande échelle : permet de tirer le meilleur parti des investissements en Big Data d'une entreprise en se connectant à toutes ses sources de données à l'échelle nécessaire pour analyser, partager et promouvoir des informations dans toute l'entreprise, tout en maintenant l'exactitude, la cohérence et la sécurité des données.

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

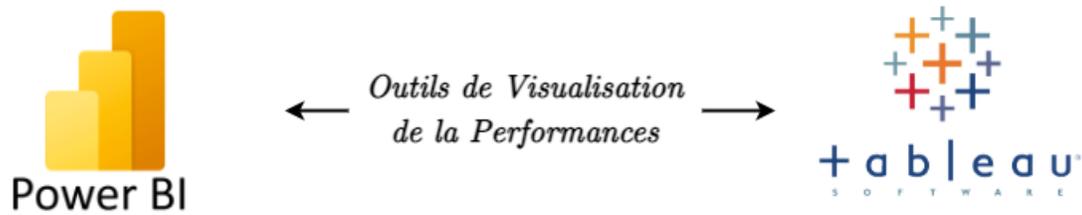


Figure 2.20: Outils de Visualisation de la Performances (Logos)

Ce chapitre avait pour but d'introduire les concepts utilisés dans ce projet. Pour ce faire, nous avons d'abord défini quelques notions clés abordées dans notre étude et qui tournent autour de la chaîne logistique dont le concept de chaîne logistique des pièces de rechange et la maintenance. Ensuite, nous avons présenté une revue de la littérature sur les différents modèles de prévision et sur la manière de procéder au choix du modèle de planification de la demande le plus adéquat. Enfin, nous avons conclu sur l'outil important que représente le tableau de bord dans le suivi de la performance des processus et des solutions mises en œuvre.

Chapitre 03

Résolution de la problématique

Chapter 3

Résolution de la problématique

Dans ce dernier chapitre, nous allons enfin pouvoir concrétiser la conceptualisation amorcée dans les chapitres précédents, qui consiste tout d'abord à élaborer une étude prévisionnelle de la demande des pièces de rechange les mieux classées par rapport à une analyse de Pareto, puis nous allons, après la valorisation des résultats, concevoir un outil d'aide à la décision dont le but est d'optimiser la planification de la demande des pièces de rechange et mettre en place un outil de contrôle pour un suivi de la performance du processus de planification et d'approvisionnement au sein de la division Well Construction au niveau de la business line WCM, tout en contribuant de même à assurer une visibilité minimale sur le processus de distribution en mettant en lumière le suivi des délais de livraison fournisseurs.

3.1 Etude prévisionnelle de la demande

Afin de répondre à la problématique soulevée dans notre premier chapitre, nous allons nous intéresser à la demande en pièces de rechange propre à la fonction matériel management de Schlumberger. Dans le but d'analyser l'évolution et le comportement de cette dernière, une étude prévisionnelle est indispensable.

Dans cette partie, nous allons d'abord définir l'horizon et le champ d'application de notre solution avec une classification définissant les matériaux ayant le plus d'incidence sur la chaîne d'approvisionnement, s'en suivra une prévision de la demande de ces dernières à l'aide de différents modèles statistiques dans un premier temps, puis basé sur la machine learning dans un deuxième, avant de passer à la validation du modèle grâce aux indicateurs de performance adéquats.

3.1.1 Préparation des données

Pour procéder à notre analyse, les équipes de la division Well Construction ont mis à notre disposition l'historique des commandes en M&S du fichier GOLD hébergé par le HUB de Schlumberger qui concernent la business line WCM.

Contenant une quantité de données relatives à la demande des cinq dernières années, nous avons procédé d'abord, à un data cleaning pour ne garder que les données pertinentes, au cours de ce processus une anomalie fut détectée, en effet les données propres aux deux années 2017 et 2018 sont incomplètes en raison d'une récolte de données faussée par la phase de transition que connaît l'entreprise avec l'implémentation d'un nouveau système d'information SAP. le tableau suivant présente une synthèse du nombre et la quantité commandée au cours des années d'après le fichier fourni.

Table 3.1: Quantités commandées en fonction des années (Fichier Gold Schlumberger HUB)

Années	Nombre de commandes	Quantités commandées
2021	5880	192344
2020	6150	201231
2019	5920	189344
2018	854	20198
2017	779	26188

Pour améliorer la fiabilité de l'analyse et en se basant sur les trois dernières années les plus pertinentes notamment de 2019 à 2021. On effectue une extrapolation afin de générer des commandes tout en respectant la distribution normale, la moyenne et l'écart-type des données historiques pour obtenir le tableau récapitulatif suivant :

Table 3.2: Quantités commandées en fonction des années améliorées

Années	Nombre de commandes	Quantités commandées
2021	5880	192344
2020	6150	201231
2019	5920	189344
2018	6321	213420
2017	5793	198181

Les données à présent préparées et ne présentant aucune anomalie, on peut initier la phase d'analyse.

3.1.2 Classification ABC

Après une analyse des différents segments de données fournies nous avons choisi d'étudier les pièces de rechange par rapport à leur groupe (Material Group), déjà défini par l'entreprise, qui sont au nombre de 219.

Afin d'agir sur les Material Group les plus influents sur les résultats de la chaîne logistique, on a procédé à une classification ABC. Celle-ci n'est pas indispensable, mais s'en passer conduit l'entreprise à assurer le niveau de stock relatif à toute leur gamme de produits (219 groupes) à tout moment, car tout est classé au même niveau d'urgence, perdant de ce fait le contrôle et l'efficacité sur sa gestion des stocks.

La classification ABC va nous permettre de nous concentrer sur l'activité qui entoure les Materiel Group les plus critiques et d'augmenter le niveau de gestion efficace des stocks tout en réduisant l'horizon de contrôle.

Cette méthode divise les stocks en catégories basées sur différents critères pour donner la répartition suivante [39]:

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

Pour utiliser la méthode ABC il est important de définir les critères de classification de notre inventaire. Ces derniers ont été le nombre de commandes effectuées, ainsi que la somme de la quantité commandée, durant la période des cinq années que nous offre l'historique de données, pour prioriser les groupes avec le plus de fréquence de commande et les plus grandes quantités en stock, ces dernières ayant le plus d'utilisation et donc plus d'impact s'ils subissent une rupture de stock.

Ayant choisi de classer les produits en fonction de 2 critères distincts nous avons effectué deux analyses ABC pour enfin les combiner et créer les classes hybrides finales suivantes :

- **Classe AA** : 80% des quantités commandées et 80% du nombre de commandes
- **Classe AB** : 80% des quantités commandées et 80% du nombre de commandes
- **Classe AC** : 80% des quantités commandées et 5% du nombre de commandes
- **Classe AB** : 15% des quantités commandées et 80% du nombre de commandes
- **Classe BB** : 15% des quantités commandées et 15% du nombre de commandes
- **Classe BC** : 15% des quantités commandées et 5% du nombre de commandes
- **Classe CA** : 5% des quantités commandées et 80% du nombre de commandes
- **Classe CB** : 5% des quantités commandées et 15% du nombre de commandes
- **Classe CC** : 5% des quantités commandées et 5% du nombre de commandes

Classification basée sur le volume de commande

Après le calcul des sommes des volume de commande pour chaque Materiel Group, on classe les groupes par ordre décroissant avant de calculer la somme cumulée croissante et son pourcentage et comme l'exige la méthode on classe les pourcentage inférieurs à 80% dans la catégorie A, ceux supérieures à 95% dans la C, et les reste dans la classe B, on obtient les résultat illustrés sur le tableau suivant :

Table 3.3: Classification ABC basée sur Volume

Num de la ligne	Material Group	Volume Commande	Volume Cumulé Croissant	Pourcentage % Volume Cumulé Croissant	Classe ABC Volume
1	DEELWC05	411540	411540	46,47%	A
...
...
5	DEDTDD01	48961	687906	77,68%	A
6	SEMRGM02	43775	731681	82,62%	B
...
...
12	DECTDI07	5487	846903	95,63%	B
13	DERMEE01	4144	851047	96,10%	C
...
...
219	SEIQCA01	1	885609	100,00%	C

Classification ABC basée sur Volume

De même, et en prenant en compte le nombre de commandes sur la période 2017-2021, on obtient le tableau de classification suivant :

Table 3.4: Classification ABC basée sur la fréquence de commande

Num de la ligne	Material Group	Fréquence des Com-mandes	Fréquence Cumulé Croissant	Pourcentage % Fréquence Cu-mulé Croissant	Classe ABC Volume
1	DEELWC01	57	57	4,106628242	A
...
60	INHRST12	5	1109	79,90%	A
61	SC2001	5	1114	80,26%	B
...
137	CLBFBF03	2	1311	94,45%	B
138	CLPADO01	1	1312	94,52%	C
...
219	TFMSB08S	1	1388	100,00%	C

Classification Multicritères

Par la combinaison des deux classifications on obtient les classes hybrides suivantes :

Table 3.5: Classification ABC Multicritères

Classes sélectionné	Material Group	Pourcentage % Vol-ume Cumulé Crois-sant	Pourcentage % Fréquence Cumulé Croissant	Classe ABC Combinée
1	DECTLA04	65,319949	19,45244957	AA
...
5	DECTLS06	58,3767121	49,63976945	AA
6	SEMRGM02	82,6188729	4,106628242	BA
...
12	DECTDI07	95,6293402	53,0259366	BA
13	DEMPT206	97,1606012	11,95965418	CA
...
60	INHRST12	97,711408	79,89913545	CA
61	SC2001	99,9356376	80,25936599	CB

Table 3.6: Classification ABC Multicritères

...
...
137	CLBFBF03	99,967593	94,45244957	CB
138	CLPADO01	99,9928863	94,52449568	CC
...
...
219	TFMSB08S	99,5358002	100	CC

Dans ce qui suit l'horizon de notre étude concernera la classe AA et BA donc sur le matériel groupe suivant :

Table 3.7: Resultat de la Classification ABC

Résultat		
Classe	Material Group	Description
AA	DECTLA04	tuyau et tige
	DEELWC05	Connecteur, Prise, Câble
	DERMEE04	Anneaux d'arrêt externes
	DEELWC01	Fil, Matériel d'assemblage
	DECTLS06	Bille en acier
BA	SEMRGM02	Boîte de jonction
	DEMPT206	Support
	DEDPDM05	Porte-foret
	DEDPDP06	Prise électrique
	DEMPT244	Bague d'étanchéité
	DEMPT251	Anneau de retenue
	DECTDI07	Sous-circuit de circulation

3.1.3 Prévision par les méthodes statistique

Comme vu dans le 2eme chapitre, les prévisions par les méthodes statistiques passent par plusieurs étapes : Formelle et informelle, qui vont être déroulées dans ce qui suit.

Analyse informelle de la série chronologique (Graphe)

Dans le but de faire des prévisions sur la demande des pièces de rechange retenues grâce à notre classification bi-critère ABC nous allons analyser les graphes et dans un premier temps pré-sélectionner les méthodes statistiques à utiliser, après une série de tests statistiques.

Les graphes suivants regroupent l'évolution de la demande au cours des cinq années 2017-2021 des commande en M&S : (Figure 3.1)

(Pour des soucis d'ordre de grandeur les pièces ayant une demande adjacente sont représentées sur le même graphe, Le reste des séries temporelles est représenté sur l'annexe I.

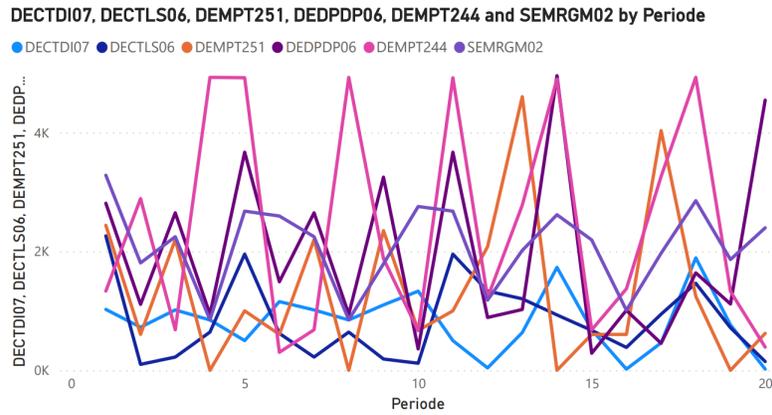


Figure 3.1: Commandes des Materiel Group : DECTDI07, DECTLS06, DEMPT251, DEDPDP06, DEMPT244 et SEMRGM02, par trimestre (2017-2021)

Sur les bases de la *Figure 3.1* , nous constatons une fluctuation tout au long des périodes de représentation et une absence pour la majorité des graphes de saisonnalité. Quant à la tendance et la stationnarité, des tests de variance sont indispensables pour confirmer leur présence.

Analyse du corrélogramme de la série brute

Dans ce qui suit, nous allons center l'étude sur la série **DEMPT 251**. L'annexe J contiendra les résultats relatifs aux autres material group sélectionnés.[36]

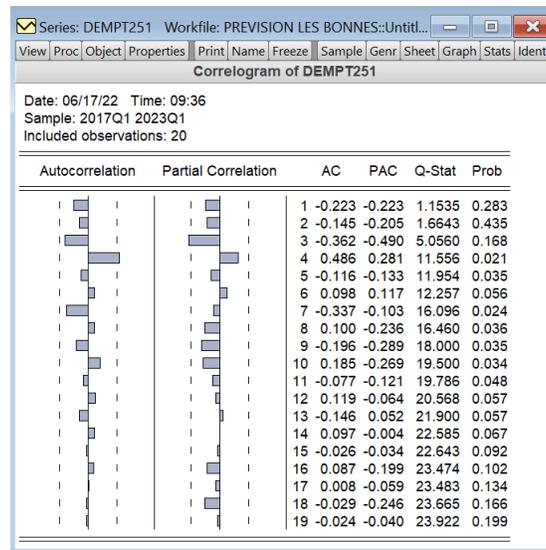


Figure 3.2: Corrélogramme de la serie DEMPT 251 (Eviews)

Ce corrélogramme nous indique que la série DEMPT 251 n'est probablement pas stationnaire, malgré la décroissance des valeurs de AC, les valeurs de ce dernier ainsi que de la corrélation partielle sont toutes proches du zéro. Pour confirmer cette hypothèse nous faisons appel à d'autres tests pour identifier les caractéristiques de la série.

Tests statistiques

Test de Fisher (test de saisonnalité)

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

ANALYSE DE VARIANCE							
	Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
13	Entre Groupes	707732,2	3	235910,733	0,11796121	0,94824193	3,238871517
14	A l'intérieur de	31998414	16	1999900,88			
16	Total	32706146,2	19				

Figure 3.3: Le résultat du F -test Serie DEMPT 251

Le résultat du F -test sur Excel (Utilitaire d'analyse) montre clairement que la valeur calculée 0,118 est largement inférieure à la valeur critique de F à 5%, égale à 3,239. Ainsi, on accepte l'hypothèse H_1 d'absence de saisonnalité et on rejette l'hypothèse alternative.

Test de Dickey Fuller (test de stationnarité)

Avant de choisir le meilleur modèle de prévision, il faut vérifier l'existence d'une tendance et déterminer la bonne manière de stationnariser la série si elle ne l'est pas. Pour ce fait nous utilisons le test de Dickey Fuller Augmented également appelé le test de racine unitaire.

Nous commençons donc par estimer **le modèle [6]** sur la tendance (test sur b).

On pose le test d'hypothèse suivant :

- H_0 : $b = 0$; b n'est pas significativement différent de 0.
- H_1 : $b \neq 0$; b est significativement différent de 0

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

Les résultats du test sur EVIEWS sont donnés comme suit :

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on DEMPT251

Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 17

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(DEMPT251)
 Method: Least Squares
 Date: 06/17/22 Time: 10:44
 Sample (adjusted): 2017Q4 2021Q4
 Included observations: 17 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DEMPT251(-1)	-2.867157	0.515040	-5.566865	0.0001
D(DEMPT251(-1))	1.368593	0.389441	3.514249	0.0043
D(DEMPT251(-2))	0.727687	0.224211	3.245540	0.0070
C	2650.604	791.1396	3.350362	0.0058
@TREND("2017Q1")	115.3737	58.99258	1.955733	0.0742

R-squared 0.807040 Mean dependent var -92.76471
 Adjusted R-squared 0.742720 S.D. dependent var 2124.663
 S.E. of regression 1077.688 Akaike info criterion 17.04295
 Sum squared resid 13936943 Schwarz criterion 17.28802
 Log likelihood -139.8651 Hannan-Quinn criter. 17.06731
 F-statistic 12.54725 Durbin-Watson stat 1.587251
 Prob(F-statistic) 0.000302

Figure 3.4: Test DF Modele [6] Serie DEMPT 251

On constate que la valeur de probabilité relative à la tendance (@Trend) qui est égale à 0.0742 est supérieure à 0.05. Donc nous acceptons l'hypothèse H_0 donc la série a une tendance non significative. En suivant le schéma présenté au cours du dernier chapitre, nous passons au **modèle [5]**, en lançons le test sur la constante c .

On pose le test d'hypothèse suivant :

- $H_0 : c = 0$; c n'est pas significativement différent de 0.
- $H_0 : c \neq 0$; c est significativement différent de 0

De même, en fonction de la valeur de P-Value de c , on accepte une des deux hypothèses précédentes. Les résultats sur EVIEWS sont :

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DEMPT251(-1)	-1.304584	0.825963	-1.579470	0.1425
D(DEMPT251(-1))	0.171689	0.636041	0.269934	0.7922
D(DEMPT251(-2))	-0.164821	0.488332	-0.337519	0.7421
D(DEMPT251(-3))	-0.497871	0.299033	-1.664937	0.124
C	1830.960	1162.508	1.575008	0.1436

Figure 3.5: Test DF Modele [5] Serie DEMPT 251

Nous remarquons que la probabilité de c est égal à 0.1436, ce qui est supérieur à 0.05, nous acceptons donc l'hypothèse H_0 , ce qui implique l'absence de la constante.

On passe à présent au **modèle 4**, en lançant le test sur ϕ .

On pose le test d'hypothèse suivant :

- $H_0 : \phi = 1$; ϕ n'est pas significativement différent de 1.
- $H_0 : \phi \neq 1$; ϕ est significativement différent de 1

De même, en fonction de la valeur de P-Value de ϕ , on accepte une des deux hypothèses précédentes. Les résultats sont les suivants :

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.202150	0.5977
Test critical values:		
1% level	-2.717511	
5% level	-1.964418	
10% level	-1.605603	

Figure 3.6: Test DF Modele [4] Serie DEMPT 251

La valeur de la P-Value de ϕ égale à 0,5977 ce qui est supérieur à 0.05, donc la série ne contient pas de racine unitaire. Le test étant fini, nous pouvons conclure que la série est générée par un processus de **type DS** non stationnaire. Une différenciation doit lui être appliquée afin de la stationnariser.

Prévision

Sur la base de l'analyse informelle de notre série et les tests statistiques appliquée à celle-ci, on remarque qu'il s'agit d'une série temporelle non-stationnaire donc avec une tendance linéaire ou quelconque, non-saisonnnière avec changement de structure donc d'après le tableau *Annexe F*, on sélectionne la méthode du lissage de Holt Winters non-saisonnnière pour les critères qu'elle remplit ainsi que la méthodologie de contrôle de Box Jenkins en raison de sa complexité adaptée aux lois non-apparente ou quelconque. .

- **Prévision par le Modèle de Holt Winters non saisonnière (HWNS)**

La méthode de Holt-Winter sans saisonnalité appliquée via des fonctions Excel nous a permis de traiter notre série, qui n'est pas saisonnière ni affectée par une tendance, et avoir des prévisions de demande pour la période du premier trimestre de 2022 jusqu'au premier de 2023. Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour la série DEMPT 251 :

Table 3.8: Prevision HWNS Jan2022-Mars2023

Trimestre	01/01/2022	01/04/2022	01/07/2022	01/10/2022	01/01/2023
Demande	5628	5380	5133	4886	4639

- **Prévision par la méthode de contrôle Box Jenkins (BJ)**

Après avoir stationnarisée la série, en utilisant la méthode de différenciation sur Eviews avec le code :

$$\text{genr dX} = \text{d}(X)$$

On cherche le meilleur modèle ARMA grâce à la fonction **Proc > Automatic ARIMA Forecasting** et le résultat est le suivant :

View	Proc	Object	Properties	Print	Name	Freeze	Sample	Genr	Sh
Automatic ARIMA Forecasting									
Selected dependent variable: DS11									
Date: 06/17/22 Time: 14:38									
Sample: 2017Q1 2023Q1									
Included observations: 19									
Forecast length: 0									
Number of estimated ARMA models: 25									
Number of non-converged estimations: 0									
Selected ARMA model: (3,2)(0,0)									
AIC value: 17.2595489457									

Figure 3.7: Serie DEMPT 251 : Automatic ARIMA Forecasting (Eviews)

On effectue une prévision avec le modèle **ARMA(3,2)** pour obtenir le tableau suivant :

Table 3.9: Prevision BJ Jan2022-Mars2023

Trimestre	01/01/2022	01/04/2022	01/07/2022	01/10/2022	01/01/2023
Demande	131	-441	160	-100	338

On remarque que les valeurs ne sont pas toutes positives , on peut donc désormais la méthodologie de Box Jenkins.

L'Annexe J regroupe les tests de stationnarité de la globalité des séries étudiées, le modèle de prévision choisi ainsi que les prévisions par toutes les méthodes sélectionnées.

3.1.4 Prévision basée sur le machine learning

En raison de tendance de ce type méthode et leur côté innovant on a décidé d'appliquer une méthode de prévision de machine learning à notre série temporelle, s'adaptant à tout type de série en raison de la complexité des méthodes qu'elle utilise incluant le paramètre aléatoire de la série.

Dans ce qui suit les résultats des prévisions avec l'outil Facebook Prophet, un outil hybride qui se base tant sur les modèles statistiques mathématiques que sur le machine learning qui utilise de l'apprentissage pour calculant le paramètre aléatoire en plus des paramètres déjà cités comme la saisonnalité et les points de changement de structures

Prévision par Facebook Prophet

Après installation de la bibliothèque prophet et l'importation des données de la série temporelle, nous ajustons le modèle (Fit the model) en instanciant un nouvel objet Prophet, tous les paramètres de la procédure de prévision sont passés dans le constructeur (prévision trimestrielle pour 6 périodes). Ensuite, on appelle sa méthode fit et on lui passe la trame de données historiques. Pour finir, on dessine le graphe des prévisions et on les télécharge.

Le code nécessaire à cette manœuvre est le suivant :

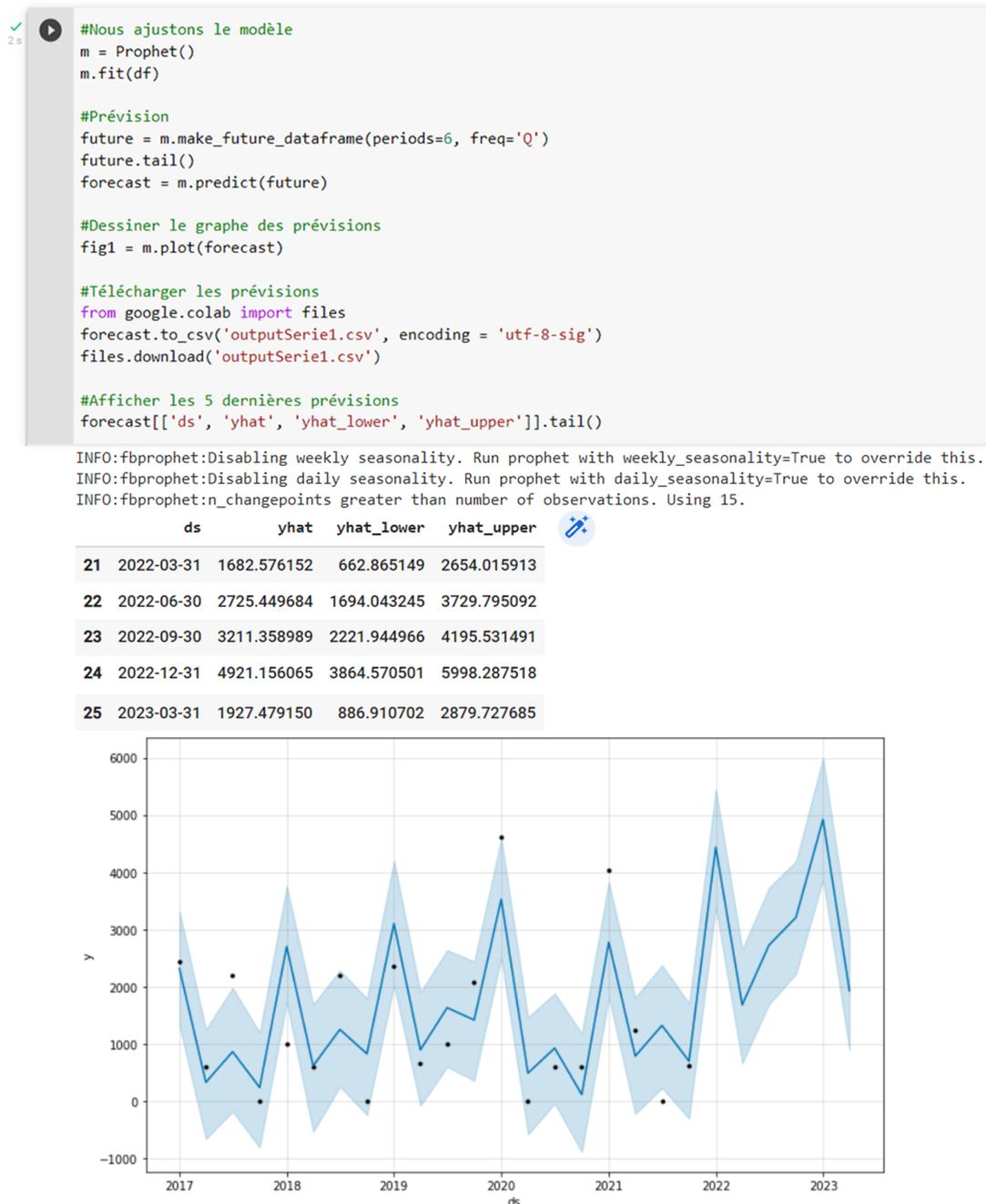


Figure 3.8: Prophet Forecasting Serie DEMPT 251 (Screenshot Google colab)

Les résultats des prévisions sont introduits par le tableau suivant :

Table 3.10: Prevision Facebook Prophet Jan2022-Mars2023

Trimestre	01/01/2022	01/04/2022	01/07/2022	01/10/2022	01/01/2023
Demande	1682	2725	3211	4921	1927

Le code au complet ainsi que les prévisions des autres séries se trouvent illustrés sur l'Annexe K

3.1.5 Validation du modèle

Dans cette dernière étape de notre étude prévisionnelle et afin de valider un modèle de prévision, nous devons mesurer la qualité et la fiabilité des prévisions obtenues par le LES, HWNS et Facebook Prophet. Pour ce faire, le tableau suivant récapitule la valeur des indicateurs de performance choisis :

Table 3.11: Validation pas a pas Serie DEMPT 251

Indicateur de Fiabilité	HWNS	Facebook Prophet
MSE (Mean Squared Error)	1169	4277
MAD (Mean Absolute Deviation)	1169	4277
MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	21,7%	75%

En prenant en compte la valeur minimale des indicateurs d'erreur, le modèle de **Holt Winters Non Saisonnier** est le plus fiable pour les prévisions de la série DEMPT 251.

Table 3.12: Moyenne MAPE pour toutes les series temporels

	HWNS	Facebook Prophet
DECTLA04	34,8139647	74,3578847
DEELWC05	20,6787621	75,9207635
DERMEE04	89,6716418	67,648185
DEELWC01	14,0750118	76,1355196
DECTLS06	24,6992128	72,0084365
SEMRGM02	6,38646954	74,4473137
DEMPT206	15,742481	73,7973212
DEDPDM05	32,284453	76,3418362
DEDPDP06	26,701472	71,7221998
DEMPT244	23,8958406	75,877825
DEMPT251	21,7254708	74,7790943
DECTDI07	12,2720568	76,1847173
Moyennes	26,91%	74,1%

Après l'étude et l'analyse des résultats pour les différents modèles de prévision on conclut qu'avec son taux de réalité de 73% le modèle de Holt Winters non saisonnier est le meilleur choix pour nos séries temporelles, les graphes suivants montrent les prévisions trimestrielles de la demande en pièces de rechange de Janvier 2022 à Mars 2023.

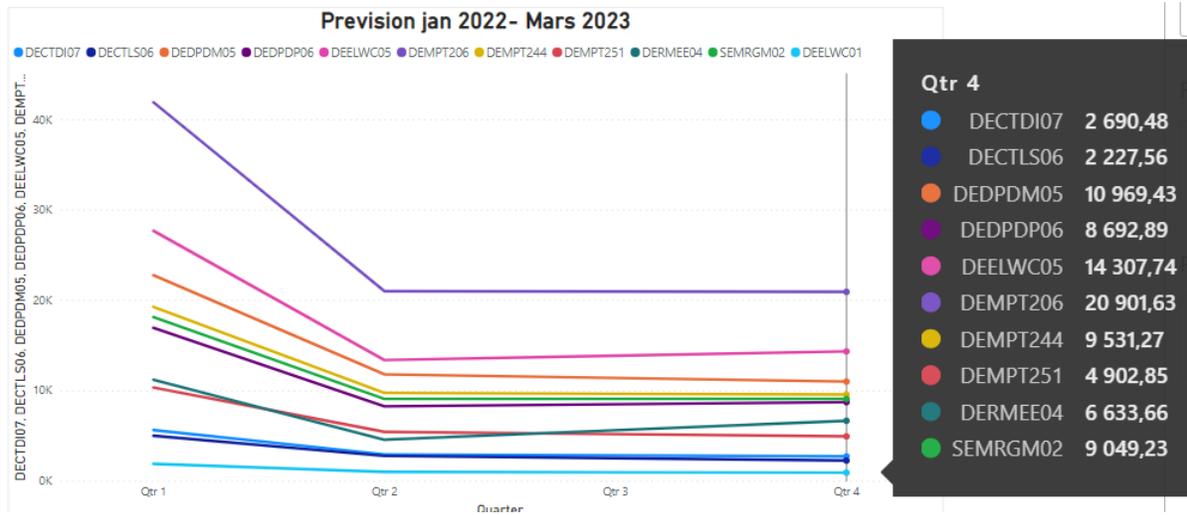


Figure 3.9: Prevision HWNS trimestrielle Jan 2022-Mars2023 (Power BI)

Cette partie qui se clôt a permis d'identifier la meilleure méthode de prévision de la demande en pièces de rechange de l'entreprise et a donné des résultats statiques qui serviront de bases pour la planification de la demande qui fera l'objet de la partie succède celle-ci.

3.2 Planification de la demande

Cette seconde partie sera consacrée à la planification de la demande en M&S et la conception d'un outil d'aide à la décision, prenant en compte la valorisation des prévisions faites précédemment, afin d'anticiper le futur de la demande en Amont.

Nous concevons donc cet outil d'aide à la décision après avoir expliqué les paramètres essentiels de sa mise en œuvre via un modèle mathématique. Nous terminerons cette partie par l'estimation des commandes futures et élaborerons une simulation de son application sur une période d'activité déjà enregistrée. Par la suite, une dernière partie sera dédiée à la réalisation d'un tableau de bord pour améliorer la gestion de la demande et avoir un suivi de la performance opérationnelle du processus en question.

3.2.1 Planification la demande par approche fondée sur le risque

Dans le contexte actuel, les termes suivants ont une signification particulière :

le risque est la combinaison de la probabilité d'un événement de rupture de stock et de sa conséquence, où une rupture de stock est un événement où une pièce de rechange n'est pas disponible sur demande.

Dans la méthode décrite ci-dessous, un profil de risque de pièces de rechange est obtenu en considérant la probabilité de ne pas répondre à la demande d'une pièce de rechange conjointement avec les conséquences de ne pas répondre à cette demande. Ce profil de risque est ensuite utilisé pour trouver la quantité optimale à commander afin de maximiser le bénéfice financier en fonction d'un niveau de risque acceptable.

Nous avons donc opté pour la conception d'un modèle mathématique présentant l'outil d'aide à la décision qui permet d'anticiper la commande de pièces de rechange de manière optimale tout en répondant à la demande des clients, en fonction des résultats obtenus concernant le nombre optimal à commander pour chaque groupe de pièces et le niveau de risque acceptable par les services concernés de Schlumberger NAF.

Concepts sous-jacents

Le modèle que nous allons vous présenter ici a été conçu pour répondre à la situation qui se présente comme suit :

- Il existe un stock de pièces de rechange pour entretenir une gamme d'équipements.
- Il y a une demande pour différents types de pièces afin de maintenir ces équipements et de les rendre disponibles pour le service.
- Il y a des coûts associés à l'achat, au transport de ces pièces, et il y a une pénalité (risque) associée au fait de ne pas répondre à une demande de pièces de rechange (ruptures de stock).

La question qui se pose est donc de savoir quel est le nombre optimal de pièces à commander dans le respect des contraintes budgétaires et/ou du risque acceptable de rupture de stock.

Le modèle de risque a été développé en faisant appel aux principes de la programmation linéaire.

Variables et paramètres de base

Cette partie du modèle vise à définir les différents variables et paramètres de base qui entrent dans la construction du modèle.

Le tableau suivant explicite chaque paramètre : (Table 3.13)

Table 3.13: Variables et paramètres de base

Paramètre	Description	Fonction
N	Nombre total des Material Groups	
i	Indice du Material Group	
a_i	Le rapport entre le nombre de pièces du Material Group i , commandées n_i , et le nombre que l'entreprise souhaiterait idéalement avoir n_i (idéal)	$\frac{n_i}{n_{i(idéal)}}$
$n_{i(idéal)}$	Le nombre idéal de pièces appartenant au Material Group i en stock pour répondre à la demande maximale.	$D_i + u$
D_i	Le nombre de pièces du Material Group i demandées pendant la période de temps	
CoS_i	Conséquence d'une rupture de stock pour le Material Group i (valeur pondérée)	$CoS_i \in \{0, 20, 40, 60, 80, 100\}$
C_i	Coût d'acquisition + coût de transport des pièces du Material Group i	
$P(x_i)$	Probabilité d'une rupture de stock pour le Material Group i	$1 - \frac{n_i}{n_{i(idéal)}}$
RV_i	Valeur du risque associé à la rupture de stock d'un Material Group i	$CoS_i \times P(x_i)$
TSC	Coût total d'approvisionnement pour les tous Material Groups	$\sum_1^N n_i \times C_i$
TRV	Valeur totale du risque associé aux ruptures de stock pour toutes les Material Groups	$\sum_1^N RV_i$

Description du modèle

Le modèle mathématique que nous proposons pour optimiser planification de la demande a pour objectifs de minimiser 2 facteurs :

- Le risque total associé aux ruptures de stocks (**TRV**) : Il représente la valeur du risque non maîtrisé par la fonction de matériel management. Il se base sur la valeur qualitative pondérée par les décideurs de la conséquence en cas de rupture de stock pour chaque pièce, pour déterminer l'importance de chacune, ainsi que sur la probabilité de la non-disponibilité calculée par le ratio du nombre commandé sur celui idéalement commandé (sans contrainte budgétaire). Le TRV est la somme du produit de la conséquence de rupture de stock et la probabilité de celle-ci pour chaque materiel group.
Plus cette valeur est minime plus les ruptures de stock seront moins conséquentes en matière d'importance et fréquence, assurant ainsi une fonction de maintenance plus pérenne et une image plus mélioratives de l'entreprise du côté de leurs clients
- Le coût total associé aux commandes (**TSC**) : Ce paramètre représente la somme totale des coûts associés à la commande, et comme chaque fonction de l'entreprise celle du matériel management dispose d'un budget alloué par trimestre qui ne doit pas être dépassé imposant une contrainte à notre paramètre, mais malgré son estimation relativement petite notre modèle propose l'optimisation des coûts, mais en priorisant le risque grâce à une pondération.

Notre modèle agit sur les quantités à commander chaque trimestre sous contrainte d'assurer un maximum de disponibilité avec un seuil de risque respecté et ainsi qu'un budget.

Dans ce qui suit nous allons construire ce modèle avec ces fonctions objectives et ces contraintes en déterminant variable de décision avant de le résoudre pour trouver la quantité optimale de pièces de rechange à commander.

Construction du modèle

- **Variable de décision**
 n_i : La quantité du Material Group i à commander

- **Fonctions objectif partielles**

- Minimum du Coût total du stock pour toutes les pièces :

$$f_1(Min) = TSC = \sum_{i=1}^N n_i \times C_i$$

- Minimum de la Valeur totale du risque associé aux ruptures de stock pour toutes les pièces :

$$f_2(Min) = TRV = \sum_{i=1}^N RV_i$$

$$f_2(Min) = \sum_{i=1}^N COS_i \times P(x_i)$$

$$f_2(Min) = \sum_{i=1}^N COS_i \times \left(1 - \frac{n_i}{n_{i(idéal)}}\right)$$

$$f_2(Min) = \sum_{i=1}^N COS_i \times \left(1 - \frac{n_i}{D_i+u}\right)$$

$$f_2(Min) = \left(\sum_{i=1}^N n_i \times -\frac{COS_i}{D_i+u}\right) + COS_i$$

- **Fonction objectif**

On ramène le problème bi-objectifs initial à un problème mono-objectif en utilisant une des approches de la méthode non Pareto dites : **Agrégation par pondération**

La transformation que l'on effectue est la suivante:

$$F = \sum_{i=1}^M w_i \times f_i$$

$$F = (w_1 \times f_1) + (w_2 \times f_2)$$

$$F = w_1 \times \left(\sum_{i=1}^N n_i \times C_i\right) + w_2 \times \left(\left(\sum_{i=1}^N n_i \times -\frac{COS_i}{D_i+u}\right) + COS_i\right)$$

Pour ce qui suit, nous allons présenter la FO en fonction de la contribution du coût d'approvisionnement du Materiel Group i par rapport au budget β et le taux de risque de rupture par rapport au risque globale α , $\frac{C_i}{\beta}$ et $\frac{CoS_i}{\alpha}$ respectivement; ce qui donne :

$$F = w_1 \times \left(\sum_{i=1}^N n_i \times \frac{C_i}{\beta} \right) + w_2 \times \left(\left(\sum_{i=1}^N n_i \times -\frac{CoS_i}{\alpha \times D_i + u} \right) + \frac{CoS_i}{\alpha} \right)$$

Avec :

w_1 et w_2 : Les poids attribués par les décideurs à chacun des TSC et TRV respectivement.

- **Contraintes**

Nous utilisons donc les notations préalablement définies dans le *Tableau n*, les notations du modèle mathématique, pour définir les contraintes spécifiques au problème posé :

- **Contrainte 1** : La valeur du risque individuel associé aux ruptures de stock ne doit pas dépasser un seuil fixé par le décideur pour satisfaire le minimum de la demande

$$RV_i \leq \alpha_i$$

Ou : α_i est le seuil de risque accepté pour le Material group i , tel que :

$$\alpha_i = \gamma \times CoS_i$$

Avec γ une constante fixée par les décideurs

On obtient après un développement, la contrainte suivante :

$$\frac{CoS_i}{n_{i(ideale)}} \times n_i > \alpha_i - CoS_i$$

$$\frac{CoS_i}{n_{i(ideale)}} \times n_i > (\gamma - 1) \times CoS_i$$

- **Contrainte 2** : la probabilité de rupture de stock doit être entre 0 et 1, ce qui se traduit par une valeur de quantité commande inférieure à la quantité qui satisfait idéalement la demande

$$0 \leq P(x_i) \leq 1$$

$$0 \leq 1 - \frac{n_i}{n_{i(ideale)}} \leq 1$$

$$0 \leq n_i \leq n_{i(ideale)}$$

- **Contrainte 3** : Le coût d'approvisionnement total ne doit pas dépasser le budget alloué à cette période

$$\sum_{i=1}^N C_i \times N_i \leq \beta$$

$$\text{Ou : } C_i = C_{ui} + C_{ti}$$

Avec : β le budget alloué au M&S durant un trimestre ; C_{ui} le coût unitaires du materiel group i ; C_{ti} le coût relatifs au transport du Materiel Group i

Formulation mathématique du modèle

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

$$\mathbf{Fo} : F(\text{Min}) = w_1 \times \left(\sum_{i=1}^N n_i \times \frac{C_i}{\beta} \right) + w_2 \times \left(\left(\sum_{i=1}^N n_i \times -\frac{CoS_i}{\alpha \times D_i + u} \right) + \frac{CoS_i}{\alpha} \right)$$

Sous contraintes

$$RV_i \leq \alpha_i$$

$$n_i \leq n_{i(\text{ideale})}$$

$$\sum_{i=1}^N C_i \times N_i \leq \beta$$

Avec : n_i : Variable de décision, $n_i \geq 0$

3.2.2 Résolution du modèle mathématique

Dans ce qui suit, nous allons procéder à la résolution du modèle mathématique proposé pour la planification de la demande. Qui aura pour sortie la quantité optimale à commander chaque trimestre, tout en minimisant le risque de rupture de stock et le budget alloué à la fonction de materiel management. Pour ce fait, nous allons utiliser le Solveur Excel cité dans le 2ème chapitre. En passant par les étapes suivantes :

Récolte de données

Dans cette partie, nous allons énumérer les différentes sources de données à partir desquelles nous avons pu collecter les données permettant de résoudre le problème :

- Apport de données liées à la demande prévue des pièces :
Après avoir réalisé l'étude prévisionnelle dans la première partie de ce chapitre, les résultats ont été exportés vers un rapport Excel afin de faciliter leur importation ultérieure pour l'exécution du modèle.
- Apport de données liées aux coûts d'approvisionnement des pièces :
Suite à notre besoin de données relatives aux différents coûts de fourniture des pièces à savoir : les coûts de transport et les coûts d'acquisition, nous avons eu recours aux systèmes concernés afin d'extraire les informations nécessaires à notre étude. Les équipes de la division Well Construction ont mis à notre disposition le fichier "Gold Freight Cost" qui contient les informations liées aux coûts qui nous intéressent.
- Apport de données liées à l'évaluation de l'impact de la non satisfaction de la demande des pièces
Ce dernier présente la finalité l'évaluation des différents facteurs entraînant l'augmentation du risque de rupture des différents Material Group à travers un formulaire qui a été envoyé aux personnes concernées.

Il s'agissait de recueillir des estimations qualitatives de CoSi.

Ces estimations ont reçu des valeurs de 100, 80, 60, 40 et 20 ; c'est-à-dire : très élevé, élevé, moyen, faible, très faible respectivement, à partir du calcul de la moyenne pondérée des valeurs en considérant un certain nombre de facteurs de conséquence ou d'impact.

Pour ce fait nous avons mis à disposition des opérateurs un formulaire permettant d'estimer ce facteur qualitatif, les résultats sont décrits dans le tableau suivant : (*Table 3.14*)

Table 3.14: Résultat de l'évolution du critère de CoS_i

	Fac1	Fac2	Fac3	Fac4	Cos
DECTLA04	0	100	100	40	60
DEELWC05	80	20	60	20	45
DERMEE04	40	60	60	60	55
DEELWC01	40	20	20	0	20
DECTLS06	0	0	0	20	5
SEMRGM02	40	40	40	20	35
DEMPT206	80	60	80	80	75
DEDPDM05	20	20	20	0	15
DEDPDP06	40	20	20	20	25
DEMPT244	40	20	20	20	25
DEMPT251	20	20	20	20	20
DECTDI07	40	20	20	20	25

Fac1 : LeadTime

Fac2 : Are you willing to pay extra?

Fac3 : Criticality of stock-out condition

Fac4 : insufficient Quantity

- Les coefficients W1 W2 et gamma on était défini après discussion et concertation avec les membres des équipes de materiel management.

Préparation des données

À partir des sources de données citées précédemment, on sélectionne les colonnes pertinentes ainsi que les Matériels Group étudiées.

- La demande (D_i) tient sa valeur des prévisions faite au cours de la première partie de ce chapitre
- L'erreur relative a la demande (ui) est égale au produit du pourcentage de l'erreur relative des prévision et la valeur de celle ci.
- Le coût unitaire de chaque Materiel Groupe est égal à la somme du prix unitaire des pièces qu'il regroupe pondérée par la fréquence de leur commande au cours de l'années 2022 (Fichier GOLD fourni par Schlumberger)
- De même pour les coûts relatives au transport, extraits du fichier Gold Freight Cost fourni par l'entreprise

On regroupe les données énumérées, grâce au formule déjà citée, on passe au calcul des restes des paramètres et on obtient le tableau sur excel suivant : (*Figure 3.10*)

Données									
Material Group	DI	u	Ni (idéal)	P(ni)	Cui (USD)	Cti (USD)	CI (USD)	CoSi	
	Prevision de la demande	Erreur prevision	Nombre idéal en stock	Probabilité rupture de stock	Coût Unitaire	Coût Transport	Coût Total relative a la pièce i	Conséquence d'une rupture de stock	
i	Fonction		DI + u	1-(n/(idéal))			CUI*CTI		
1	DECTLA04	81496	33413,36	114909,36	1	1203,232313	190,72	1393,952313	5
2	DEELWC05	12264	1716,96	13980,96	1	163,0982431	65,71964286	228,8178859	15
3	DERMEE04	3466	3084,74	6550,74	1	7,103218109	87,38463023	94,48784833	55
4	DEELWC01	1023	153,45	1176,45	1	780,3299208	58,04693548	838,3768563	45
5	DECTLS06	3222	869,94	4091,94	1	1,291608273	43,73282609	45,02443436	60
6	SEMRGM02	8910	534,6	9444,6	1	239,6328169	102,614359	342,2471759	45
7	DEMP2206	21433	3429,28	24862,28	1	1004,675543	170,4137705	1175,089313	25
8	DEDPDM05	12226	3912,32	16138,32	1	1440,807241	265,3444444	1706,151685	35
9	DEDPDP06	7571	1968,46	9539,46	1	2128,985301	267,3483962	2396,333697	75
10	DEMP2244	10720	3108,8	13828,8	1	1198,12751	123,7394949	1321,867005	25
11	DEMP2251	5628	1238,16	6866,16	1	64,84433008	57,75333333	122,5976634	20
12	DECTD107	3012	391,56	3403,56	1	1474,523133	641,1625	2115,685633	20

Figure 3.10: Résolution du modèle mathématique - Données(Screen Excel)

Afin d'entrer le modèle sur l'interface du solveur il faut introduire la fonction objectif et les coefficients des contraintes comme suites : (Figure 3.11)

fx =SOMMEPROD(N9:N20;O9:O20)

Modèle Mathématique				
Variable Decision Ni	Fonction Objectif	Contraintes		
Qts a commandé	Coeffs $\frac{V1*CI(Cui*H)}{V2(COSt*N(iidéal))}$	$Ni <= Ni(idéal)$	RV(i) <= Gamma(i).CoS(i)	
		RV(i)	Gamma(i)	CoS(i)
	0,05815871	97795,2	5	4,995
	0,00930727	13980,96	15	14,985
	0,00096769	4159,2	55	54,945
	0,02637941	1176,45	45	44,955
	-0,0014203	4091,94	60	59,94
	0,01321008	9444,6	45	44,955
	0,04881072	24862,28	25	24,975
	0,07071045	16138,32	35	34,965
	0,09823103	9539,46	75	74,925
	0,0547553	13828,8	25	24,975
	0,00446066	6866,16	20	19,98
	0,08696629	3403,56	20	19,98
	Fonction			
	0			

Resultats		Coeffs	
TSC	TRV	W1	W2
Coût total du stock	Risque totale associé aux ruptures de stock	0,1	0,9
Somme(Ci*N(i))	Somme(CoSi*P(ni))	Gamma	
0	425	0,999	
100%	0%	<- Gain	
100 - Valeur/Valueur Max			

Beta : Budget Périodique (USD)
750000

Figure 3.11: Résolution du modèle mathématique - Paramètres(Screen Excel)

On obtient ainsi l'interface suivante : (Figure 53)

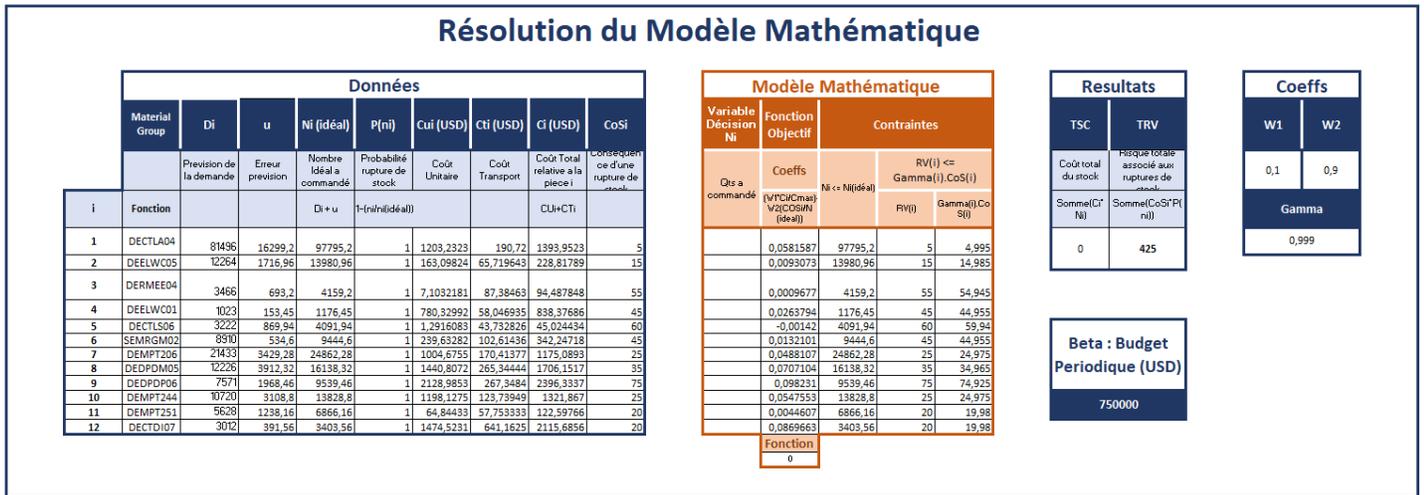


Figure 3.12: Résolution du modèle mathématique - Préparation des données (Screen Excel)

Introduction des paramètres du modèles

Nos données à présent prête au passe a resolution en les introduisant sur l'interface du solveur comme suite :

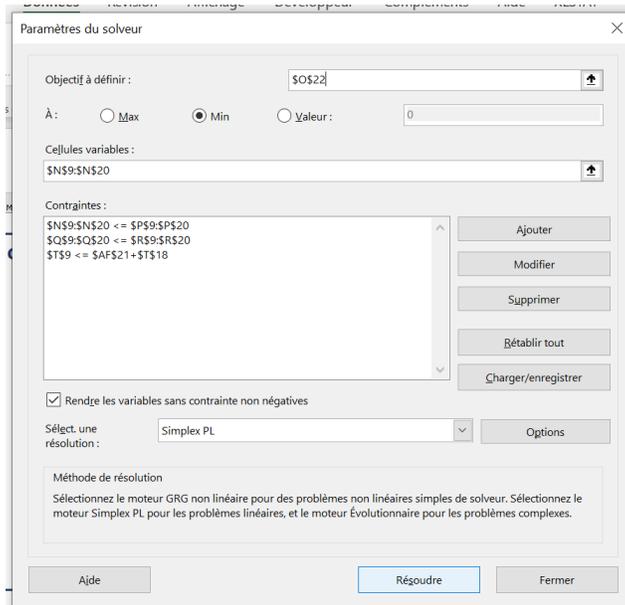


Figure 3.13: Résolution du modèle mathématique - Solveur (Screen Excel)

Résultat

En choisissant la méthode du simplexe puis en validant le modèle on obtient les résultats optimaux suivant :

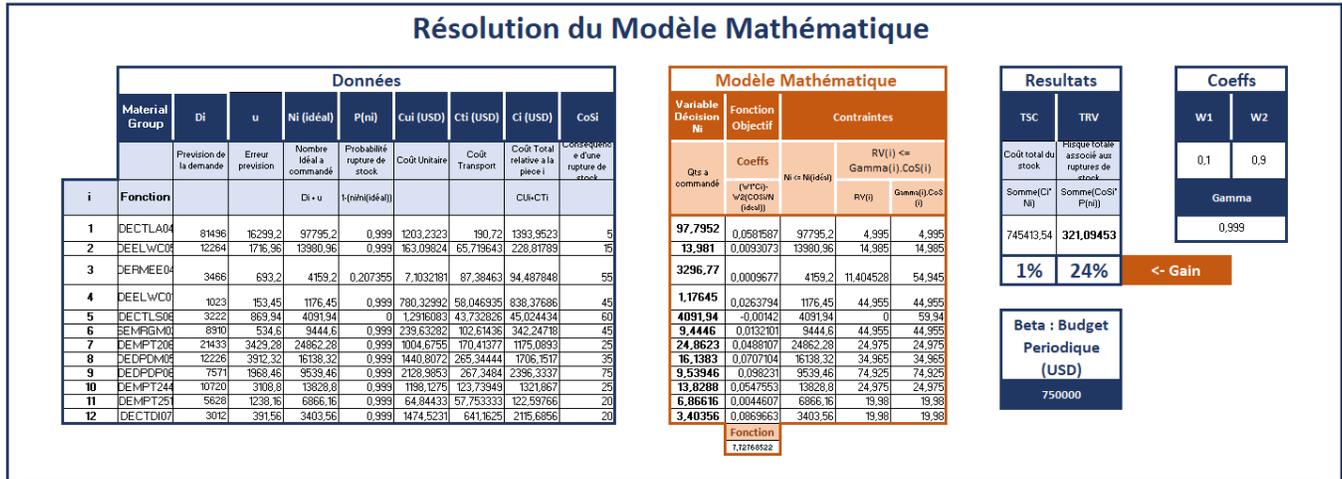


Figure 3.14: Résolution du modèle mathématique - Résultat (Screen Excel)

Résumé sur le tableau suivant les quantités optimales a commandé pour le prochain trimestre :

Table 3.15: Quantités optimales a commandé

Materiel Group	DECTLA04	DEELWC05	DERMEE04	DEELWC01	DECTLS06	SEMRGM02
Qts a commandé	98	14	3297	1	4092	9

Materiel Group	DEMPT206	DEDPDM05	DEDPDP06	DEMPT244	DEMPT251	DECTDI07
Qts a commandé	25	16	10	14	7	3

3.2.3 Etude comparative

Dans cette section, nous allons procéder à une détermination des quantités à commander tout en calculant le gain de maîtrise du risque total de rupture de stock généré et des coûts d’approvisionnement associés avant et après la mise en œuvre du modèle mathématique constituant l’outil d’aide à la décision.

Nous prenons l’exemple du premier trimestre de 2022, les quantités commandées pour les différents groupes de pièces ont été résumées dans le *tableau 3.15*. Pour ces quantités, nous avons calculé le TSC et le TRV, respectivement le coût total d’approvisionnement et le risque total associé aux ruptures de stock.

Table 3.16: Quantités commandées Jan 2022 TSC, du TRV et les contributions de chacun

Material Group	Quantité commandée T1-2022		
DECTLA04	0		
DEELWC05	0		
DERMEE04	40		
DEELWC01	1		
DECTLS06	0		
SEMRGM02	7		
DEMPT206	0		
DEDPDM05	0	TSC (USD)	TRV
DEDPDP06	6	38725,199	424,29563
DEMPT244	12		
DEMPT251	12	$\frac{TSC}{\beta}$	$\frac{TRV}{\alpha}$
DECTDI07	0	5%	99,90%

Dans ce cas, on constate que les coûts générés par l'approvisionnement des pièces ne représentent que 5% du budget alloué qui est de 750.000 USD.

Par rapport au risque, le risque total trouvé est supérieur de 100% et représente le risque total qui peut être accepté par les décideurs et dont le seuil a été fixé à 425¹

Dans ce qui suit, nous allons montrer les résultats générés par le modèle mathématique conçu.

Après avoir déterminé les quantités à commander en adéquation avec les contraintes posées, le TSC et le TRV ainsi que la contribution de chacun du budget total alloué et du risque total accepté respectivement ont été calculés et présentés de la manière suivante :

¹représente la valeur du paramètre β qui est la somme des conséquences de la rupture de stock pendant une probabilité unitaire de pénurie pour toutes les pièces.

Table 3.17: Quantités commandées Jan 2022 TSC, du TRV et les contributions de chacun générées par le modèle mathématique

Material Group	Quantité commandée T1-2022		
DECTLA04	98		
DEELWC05	14		
DERMEE04	33		
DEELWC01	1		
DECTLS06	41		
SEMRGM02	9		
DEMPT206	25		
DEDPDM05	16	TSC (USD)	TRV
DEDPDP06	10	745413,54	321,0945277
DEMPT244	14		
DEMPT251	7	$\frac{TSC}{\beta}$	$\frac{TRV}{\alpha}$
DECTDI07	3	99%	76,0%

Depuis ces résultats, nous avons assisté à une exploitation quasi totale des ressources financières disponibles pour la fourniture de pièces.

En ce qui concerne les risques, le modèle expose les décideurs à un risque total de 76% de ne pas répondre à la demande.

En synthèse, ce premier tableau a droite, montre le gain en maîtrise des coûts et le gain en maîtrise des risques liés aux ruptures de stock.

Ce deuxième tableau résume les valeurs des gains totaux avant et après la mise en œuvre du modèle mathématique, en tenant compte du poids de chacun des coûts d'approvisionnement et du risque de pénurie dans la prise de décision:

Table 3.18: Gains totaux avant et après la mise en place du modèle mathématique

	GTSC (%)	GTRV (%)	Gain total généré
	Gain de maîtrise de coût	Gain de maîtrise de risque	
Avant l'implémentation	95%	0,1%	0,0959
Après l'implémentation	1%	24,0%	0,217

Nous observons une augmentation de 12% du gain après la mise en place de l'outil de décision. Ainsi, une réduction de 24% des risques liés à la rupture a affecté significativement le résultat par rapport à la diminution de 94% de la valeur du gain de maîtrise des coûts, d'où l'importance de prendre en compte les risques de non-satisfaction de la demande.

Après une bonne analyse des résultats on peut conclure que notre outil permet une meilleure gestion de la planification de la demande, en calculant les quantités commandées avec une maîtrise des risques maximale et une visibilité sur les stocks et la demande à venir.

D'après les gains déjà calculés, la mise en place de ce dernier permettra un risque de rupture de stock minimale qui se traduira ensuite par un gain en coûts cache et une meilleure image de l'entreprise.

Bien que ces résultats soient bons, on remarque la nécessité d'augmenter le budget associé à la fourniture de pièces pour assurer une performance plus optimale du processus.

3.2.4 Automatisation de la solution

Afin que notre solution soit dynamique et réutilisable au cours des prochains trimestres, il faut actualiser à chaque calcul les données et les paramètres d'entrée de notre modèle, et cela, manuellement ce qui implique refaire la procédure de nettoyage et de préparation de données, une étape qui peut prendre beaucoup de temps, en prenant en compte la structure du fichier Gold sur un ordinateur performant une personne lambda effectue ce calcul en 45 min

Pour minimiser ce temps d'exécution, on va faire intervenir le langage de programmation VBA Excel explicitée au cours du chapitre 2. Grâce à ses nombreuses fonctions, nous allons automatiser notre solution sur Excel et la rendre exécutable en moins de quelques minutes.

Fonctionnalités principales de l'application Excel

Le code présenté en *Annexe L* va permettre aux planificateurs de :

- Ouvrir l'application et actualiser la base de données de notre modèle en choisissant le fichier Excel Gold le plus récent sur son appareil grâce à un bouton de commande rattaché à l'Objet **GetOpenFileName**
- Ouvrir le fichier choisi et extraire les données nécessaires grâce à une boucle for lié à une fonction si qui filtre les colonnes (Matériel groupe, le mois de commande, quantité commande et la valeur monétaire de la commande)
- Nettoyer les données obtenues en filtrant les lignes qui contiennent les Materiel Group les plus pertinents sélectionnés préalablement.
- Prépare les données : Sommer les quantités de commande de chaque trimestre pour obtenir les tableaux suivants *Figure 3.15*

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	DECTLA04	DEELWC05	DERMEE04	DEELWC01	DECTLS06	SEMRGM02	DEMPT206	DEDPDM05	DEDPDP06	DEMPT244	DEMPT251	DECTDI07
janv-17	53200	6335	1750	1050	2262	3282	8300	1687	2811	1333	2440	1025
avr-17	19500	493	310	20	100	1807	27	1361	1109	2890	604	725
juil-17	8042	4014	180	20	223	2248	9390	1808	2650	682	2199	1016
oct-17	5	558	35	0	643	850	3500	7167	943	4929	0	847
janv-18	77562	4948	38	1000	1955	2678	8500	385	3670	4923	1001	500
avr-18	2040	4871	24	10	621	2596	1700	4442	1490	303	604	1156
juil-18	8042	4014	180	20	223	2248	9390	1808	2650	682	2199	1016
oct-18	5	558	35	0	643	850	3500	7167	943	4929	0	847
janv-19	50710	6131	1970	1026	190	1791	3220	4198	3250	1880	2350	1100
avr-19	31010	2547	21	228	119	2756	7501	8020	359	665	670	1332
juil-19	77562	4948	38	1000	1955	2678	8500	385	3670	4923	1001	500

Figure 3.15: Préparation de la Serie temporelle VBA (Screenshot Excel)

- Importer les données vers une autre feuille pour faire les prévisions de la demande avec la méthode de Holt Winters déjà programmées
- Importer les prévisions et leurs erreurs vers la feuille du modèle ainsi que les coûts calculés
- Actualiser les quantités a commandé pour le trimestre à venir

Après l'exécution du code, notre interface se présente comme suite :

(Le code VBA avec commentaire de chaque fonctionnalité en *Annexe L*)



Actualiser les Paramètres

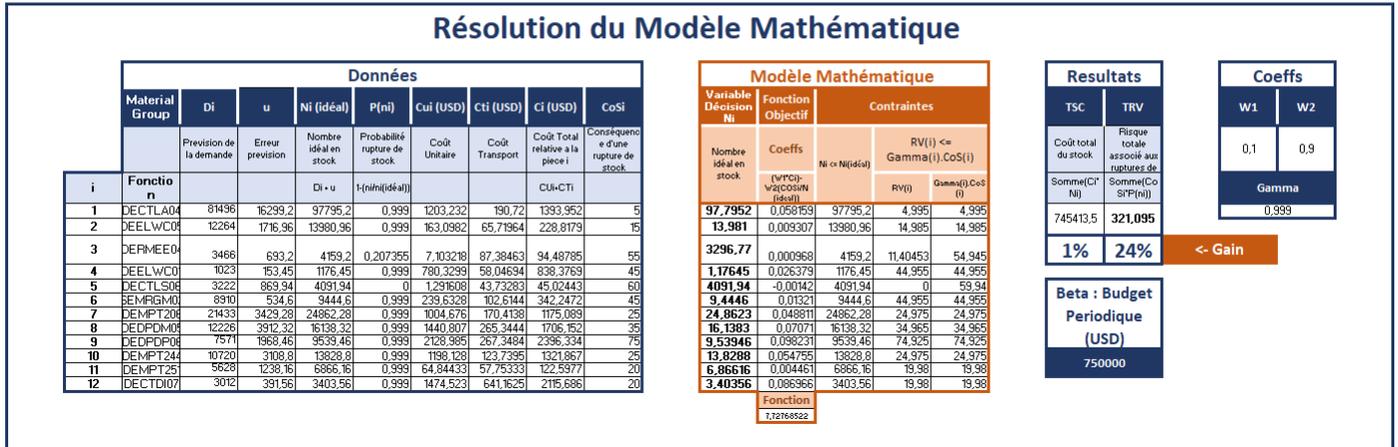


Figure 3.16: Interface de l'application VBA (Screenshot Excel)

Cette automatisation rend notre solution dynamique et intuitive, ainsi elle est plus pertinente de part sa pérennité dans le temps. Mais elle ne constitue que le cerveau de notre livrable, car elle va pouvoir transmettre les paramètres d'aide à la décision à une interface de suivi présentée dans ce qui suit.

3.3 Conception de l'outil de suivi et de contrôle de la performance

En plus des moyens et modèles proposés pour planifier et répondre à la demande en optimisant les coûts et les risques liés à l'approvisionnement en pièces de rechange, nous avons conçu un outil de gestion et de contrôle capable de suivre les quantités de pièces commandées. Cet outil consiste en un tableau de bord tactique développé en suivant une démarche appelée **GIMSI** et qui sera développée dans la section qui suit.

3.3.1 Choix de la démarche de construction du tableau de bord

Afin d'éviter les conflits de complexité et de confronter les risques, la littérature, telle que présentée dans le chapitre précédent, propose plusieurs méthodes pour la construction des instruments de pilotage et de suivi des performances. Parmi ces méthodes, il y a celles basées sur une hiérarchie " **Top-down** ", comme les méthodes BSC et OVAR, tandis qu'une méthode plus pertinente qui est celle de GIMSI repose principalement sur une approche " **Bottom-up** ", mettant au premier plan la stratégie, les processus critiques identifiés et l'importance de la prise de décision. Et ce grâce à son principe de responsabilisation, d'autonomie et de communication de tous les acteurs, décideurs à part entière.

Nous avons donc choisi la méthode GIMSI, car elle offre la possibilité d'utiliser au mieux les outils de communication et de partage proposés par l'entreprise pour la mise en œuvre de l'intelligence collective. Ce choix de la méthode GIMSI a été fortement recommandé par l'équipe impliquée dans le processus décisionnel, car elle s'inscrit parfaitement dans leurs perspectives en termes de coordination, d'objectifs et de comportements.

3.3.2 Déroulement de la méthode GIMSI

Dans la section suivante, nous allons dérouler les 10 étapes de l'approche GIMSI afin de construire un tableau de bord avec les indicateurs de mesure les plus efficaces permettant de suivre la performance des processus concernés dans notre étude.

La phase d'identification

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

Ainsi, notre projet de conception de l'outil de pilotage concernera la division Well Construction et sa business line WCM et se focalisera sur le processus de planification, d'approvisionnement et de distribution des pièces de rechange.

La phase de conception

• Etape 03 : Définition des objectifs

Un tableau de bord est un outil qui nous permet d'avoir une vision précise de la situation de l'entreprise et de prendre les bonnes décisions pour améliorer cette situation. Cette vision peut être résumée en une série d'objectifs qui, dans notre cas, concernent la business line WCM pour son processus de planification, d'approvisionnement et de distribution des pièces de rechange.

Pour y parvenir, nous avons consulté des documents formels et des procédures d'entreprise, des plans directeurs, etc. D'autre part, nous avons assisté à quelques réunions avec les personnes impliquées et le management de ce processus, et organisé des ateliers de brainstorming pour en tirer des indicateurs mais aussi des préoccupations et des objectifs d'amélioration. Ainsi, en se basant sur l'audit SCOR et l'analyse déjà effectués dans le premier chapitre, qui décline les priorités globales et les besoins de la business line WCM en ce qui concerne la planification et l'approvisionnement en M&S, nous avons déduit les objectifs suivants :

- Assurer le suivi des commandes et des délais de livraison fournisseurs (SDT) en temps réel
- Réduire la valeur totale du risque lié à la rupture des stocks des pièces de rechange
- Respecter le budget alloué à l'approvisionnement des pièces de rechange
- Estimer la quantité optimale des pièces à commander
- Augmenter la disponibilité des pièces de rechange afin de répondre à la demande avec la bonne quantité et au bon moment.

• Etape 04 : Construction du tableau de bord

Dès que la précédente étape est accomplie, nous passons à l'étape la plus ludique et la plus technique du processus GIMSI, qui consiste à élaborer la structure du tableau de bord qui doit être consultable en un clin d'œil. Sans trop réfléchir, pour se forger une opinion précise sur l'état de fonctionnement du processus ou déclencher une réaction en fonction de l'objectif cible.

Ce tableau doit être structuré dans un ordre logique, en mettant en évidence les relations de cause à effet, afin qu'il ne s'agisse pas d'une simple collection aléatoire d'indicateurs, mais d'un outil d'aide à la décision garantissant une harmonisation précise entre les indicateurs sélectionnés, qui mesurent la situation actuelle, et les objectifs cibles de la division.

Les KPIs en question peuvent être :

- Les indicateurs d'alerte, qui indiquent un dysfonctionnement nécessitant une action.
- Les indicateurs de bilan, qui informent sur l'avancement par rapport aux objectifs pouvant conduire à des actions correctives.
- Les indicateurs d'anticipation, qui permettent de reconsidérer la stratégie précédemment choisie en menant des actions préventives.

• Etape 05 : Choix des indicateurs de performance

Au cours de cette étape, nous allons définir et sélectionner les indicateurs de mesure qui sont parfaitement adaptés aux activités du processus en question, et qui sont jugés pertinents pour refléter la vision de la division Well Construction et sa business line WCM et mesurer ses objectifs cibles. Cette étape s'avère critique, car elle nécessite un choix drastique et synthétique pour ne garder que les indicateurs les plus significatifs.

Pour ce faire, nous devons soumettre les KPIs sélectionnés aux critères définis par la méthode GIMSI :

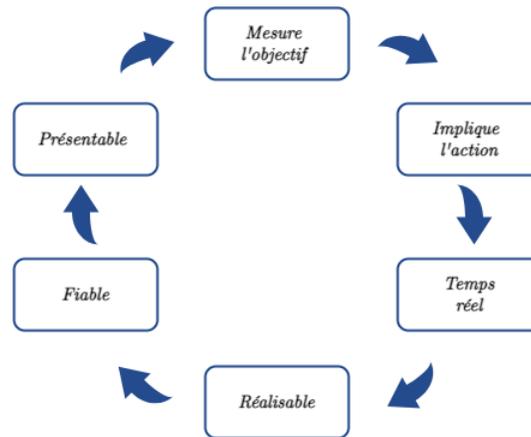


Figure 3.17: Interface du tableau de bord(Screenshot PowerBI)

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

De manière plus spécifique à notre problématique et selon les accès que nous avons eu à notre disposition, nous avons choisi les indicateurs résumés ci-dessous :

Table 3.19: Indicateurs de performances principales sélectionnées

Indicateur	Objectif de l'indicateur	Formule	Unité	Visualisation
Total stock-out Risk value	Suivre le risqué lié à la rupture des stocks par Material Group	Somme des (Conséquence de rupture × Probabilité d'une rupture)	%	Gauge
Total sourcing cost value	Suivre l'évolution des couts d'approvisionnement des pièces par rapport au budget total	Coût d'acquisitioni + Coût de transport ; (Valeur Max : 750K)	USD	Gauge
Supplier delivery Time (SDT)	Percevoir les retards des fournisseurs par rapport à la date promise de livraison	Date de livraison réelle - Date de livraison promise	Jours	Slicer

De la même façon nous avons retenu les visualisations graphiques suivantes :

- Un graphique par secteur pour visualiser le pourcentage de contribution de chaque fournisseur aux retards enregistrés pendant le trimestre.
- Un histogramme empilé représentant les quantités commandées par pièce (Material Part) pendant un trimestre.

- Diagramme en rubans montrant les quantités commandées dans chaque commande pour chaque groupe de pièces pendant le trimestre.
- Un histogramme empilé représentant les quantités commandées par groupe de pièces (Material Group) pendant une période ainsi qu'un graphique en courbe montrant la demande pour chaque groupe.
- Une carte du monde montrant l'emplacement des commandes, leurs quantités et d'autres détails sur les pièces commandées.
- Segments de filtrage : numéro de commande (Order N°), identifiant du groupe de pièces (Material Group) et l'identifiant de la pièce (Material Part) pour pouvoir accéder facilement à l'information voulue.
- Un tableau contenant les données des pièces commandées, leurs quantités et l'identifiant de la commande associée

Le choix des informations à suivre dans le tableau de bord a été validé et approuvé par le responsable et les membres de l'équipe du Material Management Fonction au sein de l'entreprise.

• **Étape 06 : Collecte de données**

Les indicateurs sélectionnés sont conçus à partir de rapports Excel présentant l'objet du modèle mathématique développé, ainsi que d'autres bases de données extraites du système d'information de l'entreprise contenant des données sur les délais des fournisseurs et les emplacements des commandes.

• **Étape 7 : Le système de tableau de bord**

Le tableau de bord créé vise à rassembler et visualiser les différentes données liées à la planification, l'approvisionnement et la distribution des pièces de rechange, et à les rendre exploitables lors du lancement des commandes et de leur suivi afin de faciliter la prise de décision.

Pour le choix de la fréquence de réalisation de ce tableau de bord nous avons opté pour une fréquence trimestrielle ceci car les données ne sont que très rarement introduites de manière journalière ou mensuelle et restent peu fiables si l'on considère le fait que la consommation sur plusieurs jours peut être ramenée à un seul jour, le jour où les données sont reportées sur le fichier Excel destiné à cet effet. Ci-dessous quelques exemples où le recours au tableau de bord permet d'anticiper certaines situations :

- Le diagramme des barres empilées représente les quantités commandées par Material Group pendant le trimestre en cours ainsi qu'une courbe présentant l'évolution de demande pour chacun. Grâce à ce visuel le décideur pourra constater l'écart en quantité afin de satisfaire la demande, ainsi il pourra planifier ses décisions par rapport au lancement de nouvelles commandes afin de répondre au besoin.
- Le diagramme camembert illustrant le pourcentage des retards fournisseurs servira à étudier les alternatives fournisseurs dans le cas des commandes urgentes afin d'éviter des retards.
- La carte géographique (ArcGIS Maps) sert comme outil à détecter l'emplacement géographique exact de la commande et toutes les données liées à cette dernière (Quantité commandée, nom du Material Group, ID et nom des Material Parts, ainsi que les dates de commande et de réception prévue) ce qui aidera le décideur à prévoir l'arrivée de sa marchandise.

La phase de mise en œuvre

• **Étape 8 : Le choix des progiciels et outils**

Pour ce choix, nous avons opté pour le développement du tableau de bord sur "Power BI", compte tenu de sa performance à assurer des interfaces visuelles interactives, personnalisées, simples et faciles à interpréter sans avoir besoin d'un background spécifique, de sa capacité à se connecter à plusieurs sources de données, travailler avec des volumétries considérables liées au Big Data, Ainsi que sa mise à disposition de l'application de bureau "**Power BI Desktop**" à laquelle nous avons accès gratuitement et que nous maîtrisons le mieux.

• **Étape 9 : Intégration et déploiement**

Le choix de "Power BI" pour le déploiement de notre tableau de bord est tout à fait judicieux car il est déjà intégré dans tous les bureaux de Schlumberger.

Par conséquent, notre tableau de bord sera facile à utiliser et ne nécessitera aucune formation pour le décideur.

La phase de suivi permanent

- **Étape 10 : Audit du système** Les stratégies changent, l'organisation évolue et les décideurs acquièrent de l'expérience, ce qui conduit très souvent à une diminution prévisible de la pertinence des indicateurs de mesure. Cette baisse peut refléter l'écart entre les informations que l'indicateur transmet et la réalité vécue sur le terrain.

D'où l'importance d'effectuer des audits pour s'assurer de l'alignement continu et de la cohérence avec les nouveaux objectifs de l'entreprise.

3.3.3 Interface du tableau de bord

Ci-dessous l'interface Power BI du tableau de bord mis en place selon la base de données de premier trimestre de 2022 :

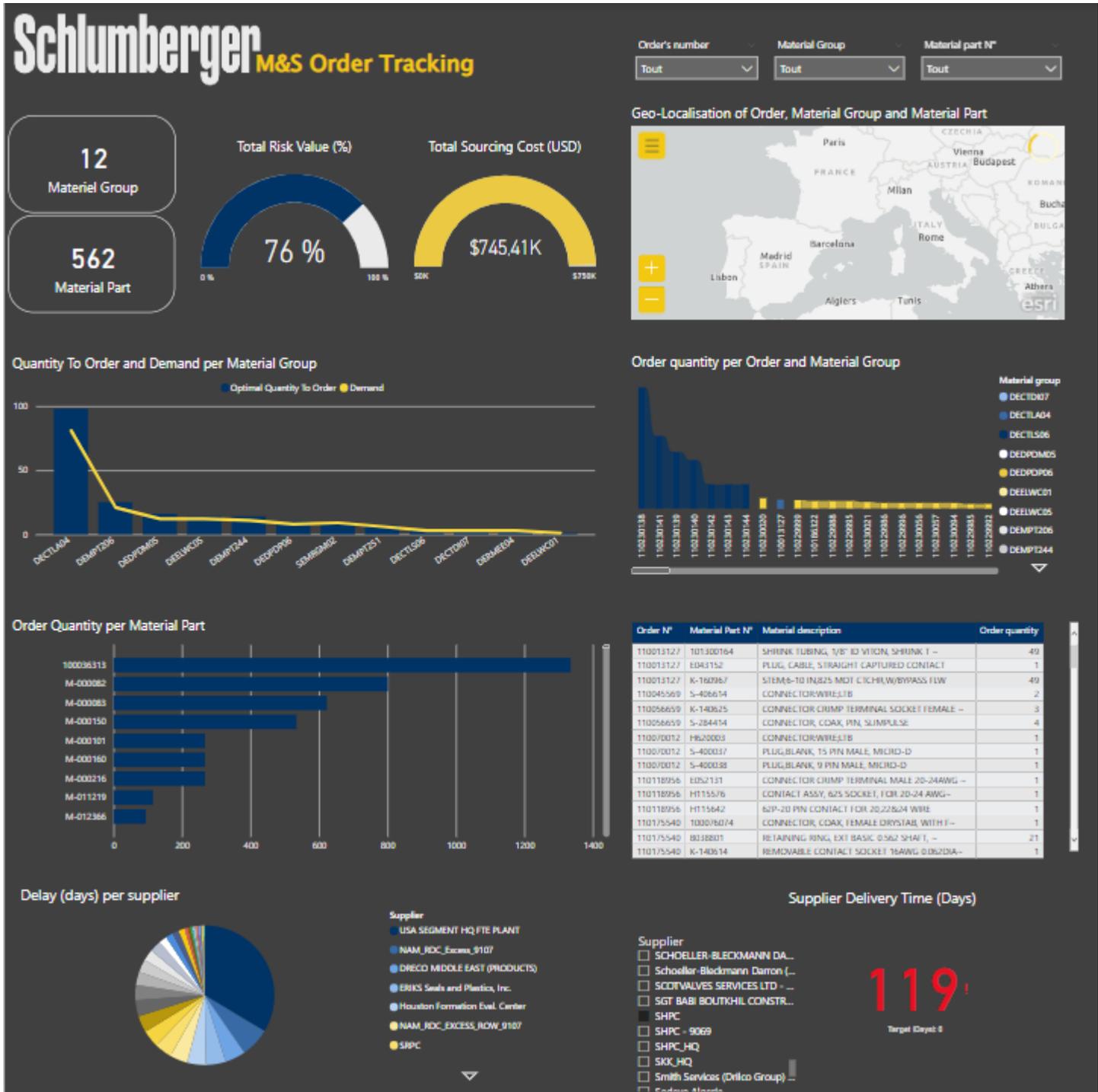


Figure 3.18: Interface du tableau de bord(Screenshot PowerBI)

A travers ce chapitre nous avons proposé une solution en deux parties à l'entreprise Slb NAF, afin de lui permettre d'améliorer sa performance logistique en matière de la planification de la demande des pièces de rechange et le suivi des indicateurs liés à leur processus de planification, d'approvisionnement et de distribution.

La première partie a permis la mise en place d'un outil statistique de prévision de la demande de pièces de rechange, à travers des techniques et méthodologies de prévision, en l'occurrence par la méthode Holt Winters, Box Jenkins et la Machine Learning. Afin d'avoir une meilleure visibilité sur la demande.

La deuxième partie concerne la conception et la mise en œuvre d'un outil d'aide à la décision pour la planification de la demande de pièces de rechange fondée sur les risques, de manière à optimiser les quantités à commander afin d'assurer leur disponibilité et de réduire les risques liés à la non-satisfaction de la demande ainsi que les coûts liés à l'approvisionnement de ces pièces, tout en respectant les contraintes liées à la capacité logistique et financière de Slb NAF. Ainsi, nous avons procédé à une simulation de l'exécution de cet outil sur une période déjà enregistrée afin de calculer la performance de ce dernier, pour laquelle nous avons pu obtenir une amélioration significative.

Enfin, dans le but de suivre les indicateurs relatifs à notre solution et d'autres liés au processus de planification de l'approvisionnement des pièces de rechange, nous avons conçu un tableau de bord dynamique. En addition, ce tableau de bord a comme second but de garantir une visibilité minimale sur le processus de distribution concernant les délais de livraison des fournisseurs afin d'aider les parties prenantes à peser leurs alternatives et faciliter leur prise de décision. Ce processus n'a pas été entièrement traité en vue des contraintes de temps, de conditions sanitaires au sein du siège de l'entreprise menant ainsi à un manque de déplacements vers l'entreprise. et donnant naissance à des nouvelles pistes d'amélioration et perspectives d'étude qui pourront avoir lieu au future et qui concernent essentiellement :

- L'amélioration du sourcing fournisseur et la revue des contrats.
- L'optimisation du processus lié aux fournisseurs et la réduction des SDT.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le secteur pétrolier et gazier est une industrie complexe et exigeante. En effet, la demande de ce dernier est souvent erratique, ce qui met les entreprises parapétrolières en état d'alerte pour la maintenance des équipements. Par conséquent, les dirigeants des entreprises sont contraints de chercher de nouvelles façons pour maximiser la disponibilité des pièces de rechange afin de maintenir les équipements en état de marche, minimiser les coûts et réduire les risques.

En tant que leader du marché des services pétroliers, Schlumberger est souvent confronté à ces défis. Ce qui nous a conduit, à travers ce projet, à effectuer une planification de la demande des pièces de rechange pour une meilleure visibilité sur le marché, dans le but d'assurer la disponibilité des équipements et répondre à la demande des clients.

Nous avons d'abord analysé et audité les différents processus de la Supply chain de Schlumberger, en particulier le processus de planification par le référentiel SCOR, et avons ainsi mis en évidence les dysfonctionnements de ces processus, précisé les sources à l'origine du manque de performance, proposé d'éventuelles solutions et choisi la meilleure répondant le mieux au besoin exprimé, à savoir disposer d'un moyen d'optimiser la planification de la demande de pièces de rechange.

Dans un premier temps, nous avons mis en place un outil statistique de prévisions, qui a permis d'anticiper la demande des pièces de rechange. Cette étude a été effectuée sur un échantillon de 12 Material groups jugés critiques selon une analyse ABC bi-critères, et nous a assuré une visibilité de la demande sur les cinq trimestres à venir.

Par la suite, nous avons conçu un outil d'aide à la décision permettant de valoriser les prévisions obtenues et ainsi fournir une planification optimale de la demande tout en déterminant la quantité optimale à commander au début de chaque période (trimestre).

Cet outil est alimenté par les résultats des prévisions sur la demande de pièces, et par divers paramètres tel que le conséquence de la rupture de stock. Il nous donne le nombre exact de pièces dont nous aurons besoin pour le trimestre à venir en minimisant les risques liés à la non satisfaction de la demande et les coûts d'approvisionnement des pièces.

Après cela, nous avons mesuré la performance de l'outil décisionnel en termes de gains en maîtrise des risques et coûts générés par une simulation sur une période déjà enregistrée par SLB, afin de comparer le risque réel subi et le coût engendré sur cette période avec le cas d'application de l'outil décisionnel sur cette même période. Une augmentation remarquable du gain total généré de 12% a été constaté.

Enfin, pour garantir le suivi de la performance du processus de planification, d'approvisionnement et de distribution de Slb en pièces de rechange, la mise en place d'un tableau de bord a été réalisée par PowerBI Desktop afin de mieux visualiser la demande, les quantités commandées, les localisations géographiques des différentes commandes ainsi que les différents indicateurs liés à notre solution.

L'apport de notre solution est de réduire les risques liés aux ruptures de stock, grâce à un calcul optimal des quantités de pièces à commander afin de répondre au mieux à la demande du marché et de satisfaire au mieux les clients internes.

Au cours de notre stage, on a pu nous familiariser avec le travail à grande échelle en multinationale, et constater la complexité qui en découle, ainsi que les contraintes qui s'imposent en milieu professionnel. Ce travail nous a permis de développer et d'exploiter notre profil polyvalent en gestion, mathématique, recherche opérationnelle et informatique, mais surtout accroître nos compétences en communication, le travail d'équipe et l'esprit d'initiative qui constitue la base de l'ingénieur.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **Wafaa LAMDANI, Mohamed Ramzi HADJAZ**, “Mise en place d’un outil d’aide à la décision pour l’optimisation de la configuration du réseau des bases logistiques dans l’industrie pétrolière”, (2021) Mémoire de Projet de Fin d’Etudes en vue de l’obtention du diplôme d’Ingénieur d’Etat en Management Industriel, Application : Schlumberger NAF, chapitre 01
- [2] **Schlumberger-Private**, “Material Management Process” , Release 20,4 Future Jobs Handbook
Download from <https://spx.slb.com/Jobs/Index>
- [3] **Schlumberger-Private**, Gold document,
Download from <https://spx.slb.com>
- [4] **Schlumberger-Private**, SOP Handbook,
Download from <https://spx.slb.com>
- [5] **Supply Chain Council**, Inc. SCOR, “The Supply Chain Operations Reference model”, october 2012
- [6] **Supply Chain Council**,The Supply Chain Operations Reference (SCOR) model: A Systematic Review of Literature from the Apparel Industry
- [7] **Cooper, Martha C., Douglas M. Lambert, and Janus D. Pagh**. ”Supply chain management: more than a new name for logistics.” (1997): 1-14. *The international journal of logistics management* 8.1
- [8] **Lazrak, Adnane**. Amélioration des processus de prévision et de gestion des stocks dans le cas d’une chaîne logistique des pièces de rechange. Diss. 2015, Nantes, Ecole des Mines.
- [9] **Mentzer, John T., et al**. ”Defining supply chain management.” (2001): 1-25, *Journal of Business logistics* 22.2.
- [10] **Huiskonen, J**. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. (2001), *International journal of production economics*, 71(1-3), 125-133.
- [11] **Tapia-Ubeda, Francisco J., et al**. ”Supplier Selection for Spare Parts Supply Chain Networks.” (2019) *IFAC-PapersOnLine* 52.13 : 2237-2242.
- [12] **Kabir, G., Sumi, R. S.** , Integrating modified Delphi with fuzzy AHP for concrete production facility location selection. (2012), *International Journal of Fuzzy System Application*
- [13] **Sean J. Taylor Facebook, Menlo Park, and Benjamin Letham**, *Forecasting at Scale*, (27 Sep 2017)
- [14] **MITCHELL, G. H**. Problems of controlling slow-moving engineering spares. *OR*, 1962, vol. 13, no 1, p. 23-39
- [15] **SHERBROOKE, Craig C. METRIC**, A multi-echelon technique for recoverable item control. *Operations Research*, 1968, vol. 16, no 1, p. 122-141.
- [16] **AXSÄTER, Sven**, Modelling emergency lateral transshipments in inventory systems. *Management Science*, 1990, vol. 36, no 11, p. 1329-1338.
- [17] **ALFREDSSON, Patrik et VERRIJDT, Jos**, Modeling emergency supply flexibility in a twoechelon inventory system. *Management science*, 1999, vol. 45, no 10, p. 1416-1431.
- [18] **KUTANOGLU, Erhan et MAHAJAN, Mohit**, An inventory sharing and allocation method for a multi-location service parts logistics network with time-based service levels. *European Journal of Operational Research*, 2009, vol. 194, no 3, p. 728-742.

- [19] **YANG, Guangyuan et DEKKER, Rommert.** Service parts inventory control with lateral transshipment that takes time. 2010.
- [20] **ASME** , Méthodes basées sur le risque pour la gestion de la durée de vie des équipements : A Step-by-Step Instruction Manual with Sample Applications, (2003) ASME, USA.
- [21] **Kennedy, W.J., Wayne Pttersen, J. Fredendall, L.D.** (2002). "An overview of recent literature of spare parts inventories", International Journal of Production Economics, vol. 76, no. 2, pp.201-215.
- [22] **Jonas Kibala Kuma,**Prévision par l'approche méthodologique de Box et Jenkins : Cas d'une Série Non Saisonnière et Non Stationnaire du type TS (Pratique sur EViews et Stata), (19 Apr 2018), HAL Id: cel-01771600
- [23] **HAMISULTANE, Hélène.** Econometrie des séries temporelles. Paris : Prévisions temporelles.2010. 37p.
- [24] **BOURBONAIS, Régis et MICHEL Terreza,** Analyse des séries temporelles, application à l'économie et à la gestion. ,(2010), Belgique : DUNOD. 157p **MELVYN W JETER,** "MATHEMATICAL PROGRAMMING An Introduction to Optimization", The University o f Southern Mississipi Hattiesburg, Mississippi p
- [25] **F. Clautiaux** , Programmes linéaires, modélisation et résolution graphique, Programmation Linéaire Cours 1 , Université Bordeaux 1
- [26] **SENE, Abdoulaye et BOMBRUN, Maxim.** L'optimisation par essaim particulaire pour des problèmes d'ordonnancement. s.l. : Institut Supérieur d'Informatique de Modélisation et de leurs Applications, 24 mars 2011. 3p
- [27] **Université de biskra,** thèse chapitre 2 Etude des méthodes d'optimisation Multicritères, disponible sur : <http://thesis.univ-biskra.dz/2124/4/chapitre02.pdf>
- [28] **Daniel-Jean David,** Excel 2013 Programmation VBA , Guide de formation avec cas pratiques,(2013),Tsoft et Groupe Eyrolles, 2014, ISBN : 978-2-212-13905-1
- [29] **Juliette Dibie,** Le Tableur EXCEL La Programmation en VBA, (2013), AgroParisTech, U.F.R. d'informatique
- [30] **Jean-François Sehan.** Excel 5 pour Windows, Macros Visual Basic, Formation Rapide, Perfectionnement. (1995) Dunod
- [31] **TOASA, Renato, MAXIMIANO, Marisa, REIS, Catarina, et al.** Data visualization techniques for real-time information—A custom and dynamic dashboard for analyzing surveys' results. In : 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). IEEE, 2018. p. 1-7.
- [32] **SEDRAKYAN, Gayane, MANNENS, Erik, et VERBERT, Katrien,**(2019) Guiding the choice of learning dashboard visualizations: Linking dashboard design and data visualization concepts. Journal of Computer Languages, vol. 50, p. 19-38
- [33] **VOYER, Pierre,** Tableaux de bord de gestion et indicateurs de performance : 2e édition. (2011) PUQ
- [34] **FEMINIER. B D. BOIX.** Le tableau de bord facile : Manager d'équipe , Éd d'Organisation, (2003) Paris.
- [35] **DECKLER, Greg,** Learn Power BI: A Beginner's Guide to Developing Interactive Business Intelligence Solutions Using Microsoft Power BI. (2019) Packt
- [36] **IHS Global Inc,** EViews 10 User's Guide I, ISBN: 978-1-880411-43-8 (October 16, 2017)(2nd Edition)

Webographie

- [37] <http://r2math.ensfea.fr/>
- [38] <https://fr.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=discovery-maintenance/quelle-est-la-difference-entre-la-maintenance-systematique-et-la-maintenance-conditionnelle>
- [39] <https://abcsupplychain.com/fr/classification-abc-xyz/>
- [40] <https://economy-pedia.com/11038607-dickey-fuller-test>
- [41] https://facebook.github.io/prophet/docs/quick_start.html#python-ap

Annexes

Annexes

Annexe A : Carte d'identité de Schlumberger. Ltd

Table 4.1: Carte d'identité de Schlumberger. Ltd

Schlumberger. Ltd	
Date de création	1926
Fondateurs	Conrad Schlumberger et Marcel Schlumberger
Forme juridique	Société anonyme avec appel public à l'épargne
Action	New York Stock Exchange et Euronext
Siège social	Bureaux principaux à Houston (USA), Paris (France), et la Haye (Pays-Bas).
Direction	CEO : Olivier Le Peuch EVP et CFO: Simon Ayat
Activité	Prestataire de services pétrolier
Effectif	105 000 (2018)
Capitalisation	48 001 millions USD (février 2020)
Chiffre d'affaire	32 917 millions USD (2019)
Résultat net	10 137 millions USD (2019)
Cash-Flow opérationnel	5.431 millions USD (2019)

Annexe B : Divisions Business Lines de Schlumberger. slb



Figure 4.1: Divisions Business Lines de Schlumberger. slb(Schlumberger HUB)

Annexe C : Choix du référentiel d'audit interne : analyse multicritères

Table 4.2: Somme pondérée, analyse multicritères (Choix du référentiel d'audit interne)

Référentiel d'audit	Critère			Somme Pondérée
	Domaine couvert	Faisabilité	Internationalisation	
Poids	5	3	2	
ASLOG	6	8	4	62
SCOR	9	9	9	90
EVALOG	5	8	5	59
Supply Chain Master	7	7	6	68
MMOG	6	7	7	65
WCL	5	7	6	58

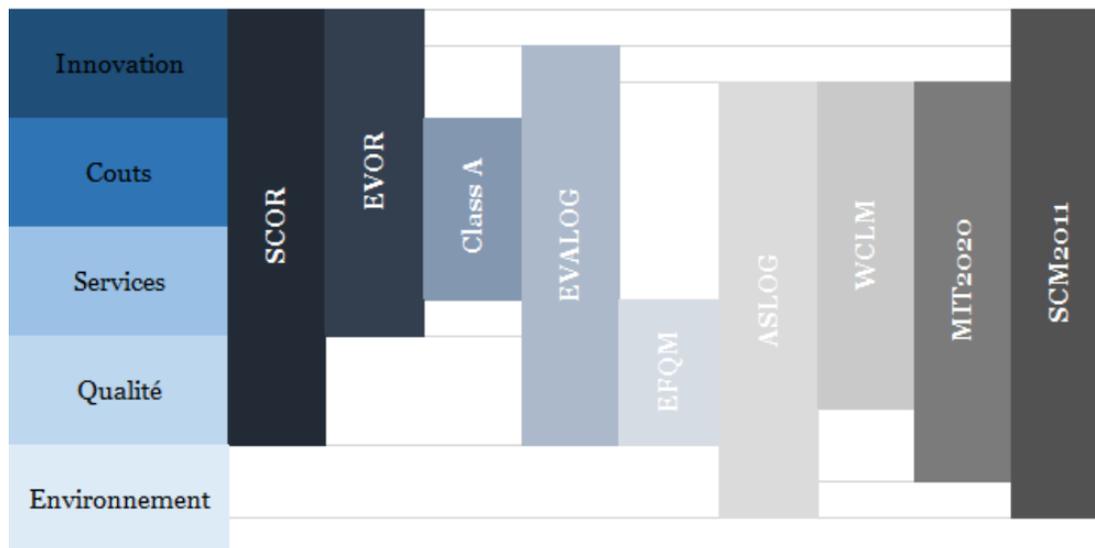


Figure 4.2: Caractéristiques des référentiel d'audit interne (Source : Imade DBICH, "AUDIT DES PERFORMANCES LOGISTIQUES", Stage de fin d'études au sein de la société AFRIC -PHAR, Maroc 2018)

Annexe D : Resultat grille d'évaluation SCOR

Grilles d'évaluation du processus de la Planification

Planification de la SC

Table 4.3: Grilles d'évaluation Métrique 1

Métrique	Référence	Mesure/Indicateur	Calculé ?
Réactivité	RS.1.1	Temps de cycle d'exécution des commandes	Yes
	RS.3.98	Planifier le temps de cycle	Yes
Coût	CO.2.001	Coût de la planification	No
	CO.3.001	Planification du coût de la main-d'œuvre	N/A
	CO.3.002	Coût de l'automatisation de la planification	N/A
	CO.3.003	Planification des coûts des immobilisations corporelles	N/A
	CO.3.004	Planification des coûts de GRC et des frais généraux	Yes
Efficacité de la gestion des actifs	AM.1.1	Temps de cycle caisse à caisse	N/A
	AM.1.2	Rendement des immobilisations de la chaine d'approvisionnement	Yes
	AM.1.3	Rendement du fonds de roulement	N/A

Table 4.4: Grilles d'évaluation bonnes pratiques 1

Référence	Bonnes pratiques	Pratiquées ?
BP.018	Système de classification ABC des stocks	Yes
BP.013	Rationalisation des articles	Yes
BP.016	Planification du réseau de la supply chain	No
BP.019	Planification de la demande	No
BP.020	Gestion de la demande	Yes
BP.021	Planification des ventes et des opérations	Yes
BP.024	Optimisation de la supply chain (SCO)	Yes
BP.026	Améliorer le processus S&OP	Yes
BP.028	Optimisation des stocks	Yes
BP.029	Gestion des stocks à l'aide de l'optimisation du réseau de supply chain	No
BP.030	Exactitude des enregistrements d'inventaire	Yes
BP.032	Réduction / radiation des stocks à rotation lente	Yes
BP.033	Amélioration de la prévision de la demande traditionnelle	No
BP.034	Étendre la planification des stocks en utilisant la collaboration (fournisseurs clés)	Yes
BP.035	Révision des règles de gestion	Yes
BP.041	Optimisation du transport	Yes
BP.042	Revision reguliere des termes et conditions d'approvisionnement	Yes
BP.044	Evaluation du financement des stocks	No
BP.055	Evaluation des performances de livraison des transporteurs de fret	Yes
BP.058	Formation à la gestion des stocks	Yes
BP.059	Incidations des employés pour une gestion efficace des stocks	Yes
BP.060	Action corrective des délais de commande	Yes
BP.061	Réduction du niveau de stock non stratégique	N/A
BP.062	Exactitude des données de base	No
BP.063	Optimiser les d'écisions d'approvisionnement vers le point d'origine local	No
BP.064	Réduction des stocks de sécurité	No
BP.066	Politique de retour pour réduire le stock de retours	No
BP.070	Planification/programmation de la formation à l'inventaire	N/A
BP.071	Optimisation des coûts de fret et du stockage des stocks	No
BP.086	Planification du réseau d'approvisionnement	No
BP.098	Accès mobile à l'information	No

Planification de l'approvisionnement

Table 4.5: Grilles d'évaluation Métrique 2

Métrique	Référence	Mesure/Indicateur	Calculé ?
Réactivité	RS.1.1	Order Fulfillment Cycle Time	Yes
	RS.3.99	Plan Source Cycle Time	Yes
Coût	CO.2.001	Planning Cost	Yes
	CO.3.001	Coût du travail de planification	N/A
	CO.3.002	Planification des coûts d'automatisation	N/A
	CO.3.003	Planification des coûts de propriété, d'installation et d'équipement	N/A
	CO.3.004	Planification des coûts de GRC et des frais généraux	Yes
Efficacité de la gestion des actifs	AM.1.1	Temps de cycle de l'encaisse à l'encaisse	N/A
	AM.1.2	Rendement des immobilisations de la chaîne d'approvisionnement	Yes
	AM.1.3	Rendement du fonds de roulement	N/A

Table 4.6: Grilles d'évaluation bonnes pratiques 2

Référence	Bonnes pratiques	Pratiquées ?
BP.024	Optimisation de la chaîne d'approvisionnement (SCO)	Yes
BP.026	Améliorer le processus S&OP	Yes
BP.027	Réapprovisionnement de l'inventaire basé sur le tirage	N/A
BP.028	Optimisation des stocks	Yes
BP.029	Gestion des stocks à l'aide de l'optimisation du réseau de la chaîne d'approvisionnement	No
BP.035	Révision des règles métier	N/A
BP.037	Fabrication d'expéditions directes/à domicile	N/A
BP.041	Optimisation du transport	Yes
BP.042	Révision régulière des termes et conditions d'approvisionnement	Yes
BP.044	Évaluation du financement des stocks	Yes
BP.055	Évaluation des performances de livraison des transporteurs de fret	Yes
BP.087	Classification ABC des stocks	Yes
BP.095	Audit/Contrôle des nomenclatures	Yes
BP.096	Logistique et planification des entrepôts	Yes
BP.097	Recherche de fournisseurs	Yes

Planification de la livraison

Table 4.7: Grilles d'évaluation Métrique 3

Métrique	Référence	Mesure/Indicateur	Calculé ?
Fiabilité	RL.3.37	La précision des prévisions	Non
Réactivité	RS.1.1	Temps de cycle d'exécution des commandes	Yes
Coût	CO.2.001	Coût de planification	Yes
	CO.3.001	Coût du travail de planification	N/A
	CO.3.002	Planning Automation Cost	No
	CO.3.003	Planification des coûts de propriété, d'installation et d'équipement	N/A
	CO.3.004	Planification des coûts de GRC et des frais généraux	Yes
Efficacité de la gestion des actifs	AM.1.1	Temps de cycle caisse à caisse	N/A
	AM.1.2	Rendement des immobilisations de la chaîne d'approvisionnement	Yes
	AM.1.3	Rendement du fonds de roulement	N/A

Table 4.8: Grilles d'évaluation bonnes pratiques 3

Référence	Bonnes pratiques	Pratiquées ?
BP.017	Planification de la distribution	Yes, mais pas optimal
BP.024	Optimisation de la chaîne d'approvisionnement (SCO)	Yes, mais pas optimal
BP.035	Révision des règles métier	Yes
BP.105	Gestion des tâches	Yes
BP.107	Gestion des commandes distribuées	Yes
BP.116	Logistique accélérée	No
BP.118	Externalisation de la gestion du transport	Yes
BP.122	Inventaire géré par le fournisseur (VMI)	No
BP.146	Cross-Docking	No

Grilles d'évaluation du processus d'approvisionnement

Approvisionnement sur stock

Table 4.9: Grilles d'évaluation Métrique 4

Métrique	Référence	Mesure/Indicateur	Calculé ?
Réactivité	RS.1.1	Temps de cycle de traitement des commandes	Yes
	RS.2.1	Temps de cycle de la source	Yes
Agilité	AG.3.9	Volumes de sources supplémentaires obtenus en 30 jours	No
	AG.3.40	Temps de cycle actuels des commandes d'achat	Yes
	AG.3.42	Volume de la source de courant	No
	AG.3.46	Contraintes liées à l'approvisionnement de la demande et aux fournisseurs	No
Coût	CO.2.002	Coût de l'approvisionnement	Yes
	CO.3.005	Coût de la main-d'œuvre d'approvisionnement	N/A
	CO.3.006	Coût de l'automatisation du sourcing	N/A
	CO.3.007	Coût d'acquisition des immobilisations corporelles	N/A
	CO.3.008	Sourcing GRC, stocks et frais généraux	Yes
	CO.2.003	Matériel Coût au débarquement	Yes
	CO.2.009	Coût des matériaux achetés	Yes
	CO.3.010	Coût du transport des matériaux	Yes
	CO.3.011	Coût des douanes, droits, taxes et tarifs matériels	Yes
	CO.3.012	Risque matériel et coût de la conformité	Yes
Efficacité de la gestion des actifs	AM.1.2	Rendement des immobilisations de la chaîne d'approvisionnement	Yes
	AM.1.3	Rendement du fonds de roulement	N/A
	AM.2.3	Jours de paiement en cours	N/A
	AM.3.16	Jours d'approvisionnement de l'inventaire - Matières premières	Yes

Table 4.10: Grilles d'évaluation bonnes pratiques 4

Référence	Bonnes pratiques	Pratiquées ?
BP.006	Inventaire en consignation	Yes
BP.035	Examen des règles de gestion	Yes
BP.036	Amélioration de la qualité des matières premières des fournisseurs	Yes
BP.131	Analyse comparative des fournisseurs alternatifs	Yes
BP.132	Émettre un appel d'offres (Quote)	Yes
BP.134	Évaluation des fournisseurs à l'aide d'un outil d'évaluation robuste.	Yes
BP.144	Gestion des bons de commande	Yes
BP.145	Collaboration avec les fournisseurs	Yes
BP.147	Réception des marchandises Inspection des marchandises	Yes
BP.148	Vérification des livraisons à 3 voies	Yes
BP.161	Analyse des dépenses au niveau de l'entreprise	Yes
BP.163	Optimisation du nombre de fournisseurs	Yes

Grilles d'évaluation du processus de la Livraison

Livraison de produit stockées et sur commande

Table 4.11: Grilles d'évaluation Métrique 5

Métrique	Référence	Mesure/Indicateur	Calculé ?
fiabilité	RL.1.1	Exécution parfaite des commandes	No
Réactivité	RS.1.1	Temps de cycle de traitement des commandes	Yes
	RS.2.3	Temps de cycle de livraison	Yes
	RS.3.20	Temps de cycle actuel des commandes logistiques	Yes
Agilité	AG.2.3	flexibilité de la livraison à la hausse	Yes
	AG.2.8	Adaptabilité de la livraison à la hausse	Yes
	AG.2.13	Adaptabilité de la livraison à la baisse	Yes
	AG.3.1	% de la main-d'œuvre utilisée dans la logistique, non utilisée dans l'activité directe	N/A
	AG.3.4	Volume de livraison supplémentaire	N/A
	AG.3.32	Volume de livraison actuel	Yes
Coût	CO.2.005	Coût de la gestion des commandes	Yes
	CO.3.018	Coût de la main-d'œuvre pour la gestion des commandes	N/A
	CO.3.019	Coût de l'automatisation de la gestion des commandes	N/A
	CO.3.020	Gestion des commandes Immobilisations corporelles Coût	N/A
	CO.3.021	Gestion des commandes GRC et frais généraux	Yes
	CO.2.006	Coût d'exécution	Yes
	CO.3.022	Coût du transport	Yes
	CO.3.023	Exécution Frais de douane, droits, taxes et tarifs douaniers	Yes
	CO.3.024	Coût de la main-d'œuvre pour le traitement des commandes	N/A
	CO.3.025	Coût de l'automatisation du traitement des commandes	N/A
	CO.3.026	Coût d'exécution des immobilisations corporelles	N/A
	CO.3.027	GRC, stocks et frais généraux de Fulfillment	Yes
Efficacité de la gestion des actifs	AM.1.1	Temps de cycle de la caisse à la caisse	N/A
	AM.1.2	Rendement des immobilisations de la chaîne d'approvisionnement	Yes
	AM.1.3	Rendement du fonds de roulement	N/A
	AM.3.17	Jours d'approvisionnement de l'inventaire - WIP	Yes
	AM.3.45	Jours d'approvisionnement de l'inventaire - Produits finis	Yes

Table 4.12: Grilles d'évaluation bonnes pratiques 5

Référence	Bonnes pratiques	Pratiquées ?
BP.035	Examen des règles de gestion	Yes
BP.055	Évaluation des performances de livraison des transporteurs de fret	Yes
BP.098	Accès mobile à l'information	Yes
BP.122	Inventaire géré par le fournisseur (VMI)	No
BP.153	Codage à barres/RFID	Yes

Livraison de produits en détail

Table 4.13: Grilles d'évaluation Métrique 6

Métrique	Référence	Mesure/Indicateur	Calculé ?
Réactivité	RS.1.1	Temps de cycle d'exécution des commandes	Yes
	RS.2.3	Temps de cycle de livraison	Yes
	RS.2.4	Temps de cycle de livraison au détail	Yes
Agilité	AG.2.3	Flexibilité des livraisons à valeur ajoutée	Yes
	AG.2.8	Avantages de l'adaptabilité de la livraison	Yes
	AG.2.13	Adaptabilité de la livraison à la baisse	Yes
	AG.3.32	Volume de livraison actuel	Yes
Coût	CO.2.003	Material Landed Cost (coût au débarquement des matériaux)	Yes
	CO.2.005	Coût de gestion des commandes	Yes
	CO.3.018	Order Management Labor Cost (coût de la main-d'œuvre pour la gestion des commandes)	N/A
	CO.3.019	Coût d'automatisation de la gestion des commandes	N/A
	CO.3.020	Coût des biens, installations et équipements pour la gestion des commandes	N/A
	CO.3.021	Gestion des commandes - GRC et frais généraux	Yes
	CO.2.006	Coût d'exécution des commandes	Yes
	CO.3.022	Frais de transport	Yes
	CO.3.023	Frais de douane, droits, taxes et tarifs de l'exécution	Yes
	CO.3.024	Coût de la main d'œuvre de la production finale	N/A
	CO.3.025	Coût de l'automatisation des opérations de gestion des commandes	N/A
	CO.3.026	Coût des immobilisations corporelles de l'exécution du contrat	Yes
	CO.3.027	Coût de la GRC, des stocks et des frais généraux de Fulfillment	Yes
Efficacité de la gestion des actifs	AM.1.1	Temps de cycle caisse à caisse	N/A
	AM.1.2	Rendement des immobilisations de la chaîne d'approvisionnement	Yes
	AM.1.3	Rendement du fonds de roulement	N/A

Table 4.14: Grilles d'évaluation bonnes pratiques 6

Référence	Bonnes pratiques	Pratiquées ?
BP.035	Révision des règles de gestion	Yes
BP.055	Évaluation des performances de livraison des transporteurs de fret	Yes
BP.098	Accès mobile à l'information	Yes
BP.153	Codage à barres/RFID	Yes

Annexe E : Schlumberger Matrice SWOT

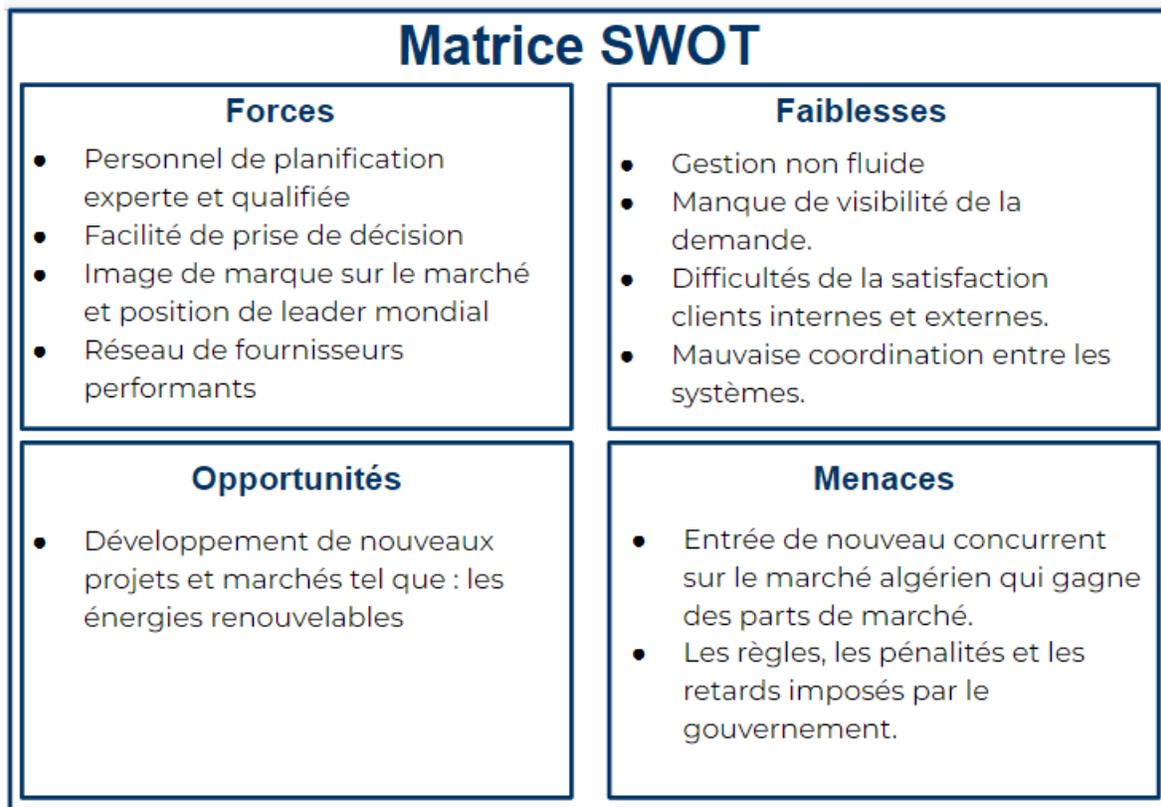


Figure 4.3: Schlumberger Matrice SWOT

Annexe F : Tableau synthèse méthode statistique Quantitatives

Type	Méthode	Tendance	Saisonnalité	Changement de structure	Complexité de la méthode (échelle de 1 à 7)	Avantages	Inconvénients/limites
Contrôle	MMS	Non	Non	Non	1	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de réduire l'effet du hasard et les fluctuations aléatoires ; - Simple à appliquer, ne nécessite pas beaucoup de calcul. 	<ul style="list-style-type: none"> - Champs d'application limité ; - Stockage important de données ; - Ne prend en compte qu'un nombre limité de périodes ; - Affecte un poids égale à chacune des observations considérées et un poids nul aux observations précédentes ; - Prend du retard par rapport à la réalité ; - Applicables uniquement pour le court terme.
		Oui (linéaire)	Non	Non	2		
	MMD	Non	Non	Oui	3	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de réduire l'effet du hasard et les fluctuations aléatoires ; - Applicable pour tous types de série ; - Règle le changement de structure, en choisissant la constante du lissage α ; - Prise en compte de l'ensemble des données connues du passé ; - Affecte un poids différent, qui décroît en fonction de l'ancienneté des données. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de règle précise pour le choix des paramètres de lissage, β et γ ; - Calcul plus compliqué, nécessitant un logiciel.
		Oui (linéaire)	Non	Oui	4		
		Oui (linéaire)	Non	Oui	5		
	HW Saisonnier	Oui (linéaire)	Oui	Oui	6	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de réduire l'effet du hasard et les fluctuations aléatoires ; - Applicable pour tous types de série ; - Règle le changement de structure, en choisissant la constante du lissage α ; - Prise en compte de l'ensemble des données connues du passé ; - Affecte un poids différent, qui décroît en fonction de l'ancienneté des données. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de règle précise pour le choix des paramètres de lissage, β et γ ; - Calcul plus compliqué, nécessitant un logiciel.
		Oui (linéaire)	Oui	Oui	6		
	BJ	Oui (quelconque)	(quelconque)	Oui	7	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de réduire l'effet du hasard et les fluctuations aléatoires ; - Simple à appliquer, ne nécessite pas beaucoup de calcul. 	<ul style="list-style-type: none"> - Champs d'application limité ; - Stockage important de données ; - Ne prend en compte qu'un nombre limité de périodes ; - Affecte un poids égale à chacune des observations considérées et un poids nul aux observations précédentes ; - Prend du retard par rapport à la réalité ; - Applicables uniquement pour le court terme.

Figure 4.4: Tableau synthèse méthode statistiques Quantitatives (Source : Fethia CHABANE, Abdelmoumene CHETTAB, "Contribution à l'amélioration de la Supply Chain amont pour l'approvisionnement en gasoil." Mémoire de projet de fin d'études, ENP 2020)

Annexe G : Code du Guide Facebook Prophet

```
# Facebook Prophet GUIDE
import pandas as pd
from prophet import Prophet
#Tout d'abord, nous allons importer les données :
df = pd.read_csv('Serie a prevoire')
df.head()
#Nous ajustons le modèle en instanciant un nouvel objet Prophet.
m = Prophet()
m.fit(df)
#Les prédictions sont ensuite effectuées sur un cadre de données avec
#une colonne ds contenant les dates pour lesquelles une prédiction doit être effectuée.
future = m.make_future_dataframe(periods=365)
future.tail()
#La méthode predict attribue à chaque ligne du futur une valeur prédite qu'elle nomme yhat.
forecast = m.predict(future)
forecast[['ds', 'yhat', 'yhat_lower', 'yhat_upper']].tail()
#tracer la prévision en appelant la fonction Prophet.plot
fig1 = m.plot(forecast)
# tracer ces composantes
fig2 = m.plot_components(forecast)
```

Figure 4.5: Code du Guide Facebook Prophet Code Source : facebook.github.io

Annexe H : Soleur excel en 4 parties

Étapes de résolution d'un problème de programmation mathématique lineaire avec Exel Solveur:

1. Saisie des différents coefficients de notre problème, et de la fonction objectifs

Variables de décision		
X1	X2	X3
0	0	0

A1i	A2i	A3i	Fonction	Bi
1	3	5	0	1
2	5	1	0	3
6	3	0	0	2
1	2	2	0	4

Coefficients fonctions objectifs			Fonction Objectif
C1	C2	C3	Z
4	6	7	0

Figure 4.6: H.1 : Résolution PL Étape 1

2. Ajout du solveur a la barre d'outils en suivant le chemin : **Fichier** > **Options** > **Compléments** > **Compléments Solveur**. Après son ajout il apparaîtra sur la section données

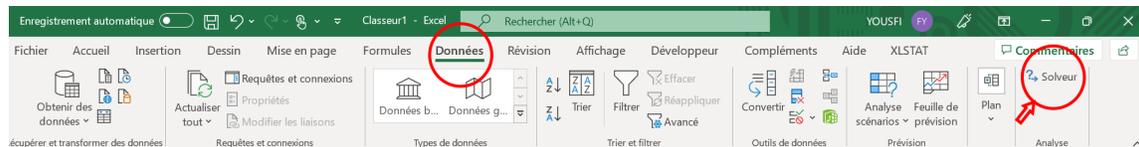


Figure 4.7: H.2 : Résolution PL Étape 2

3. Insertion de la fonction objectifs et les différentes contraintes ainsi que la plage des variables de décision.

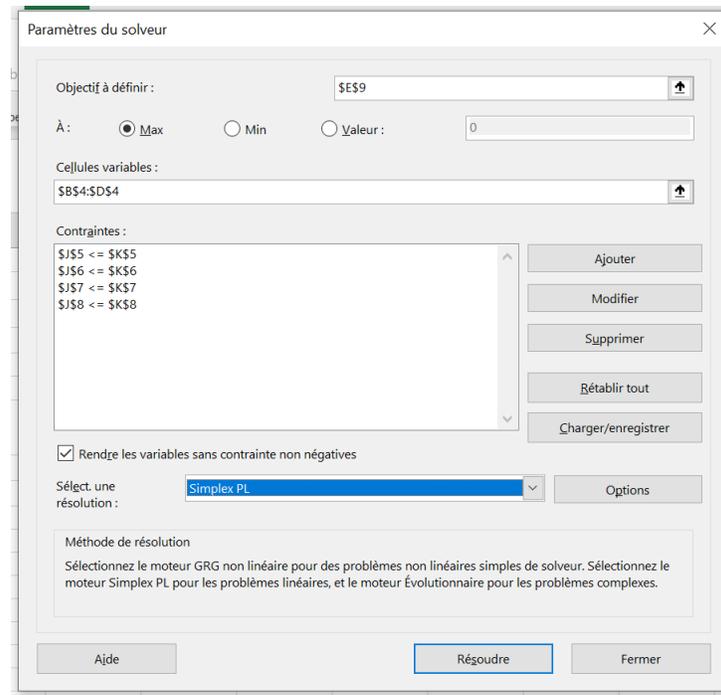


Figure 4.8: H.3 : Résolution PL Étape 3

4. En cochant la méthode du simplexe on obtient les resultat optimaux

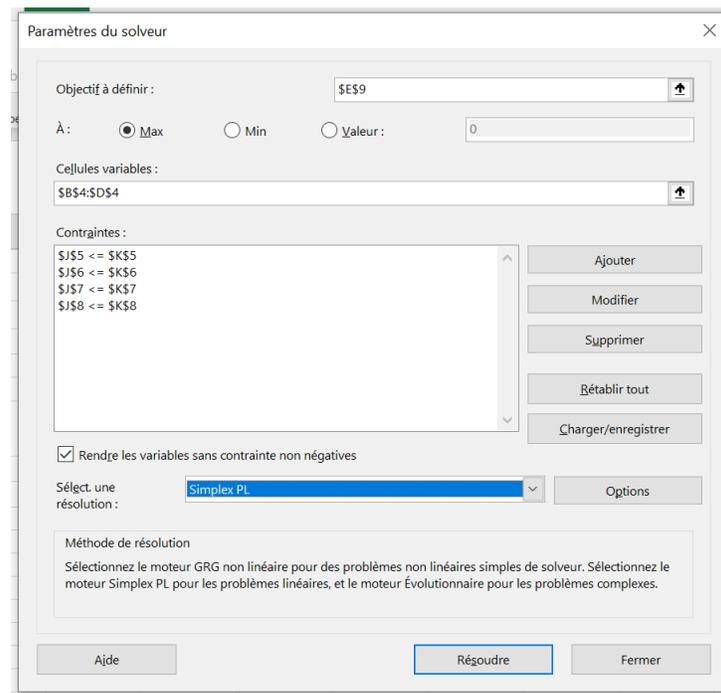


Figure 4.9: H.4 : Résolution PL Étape 4

Annexe I : Demande 2017-2021 (Graphe)

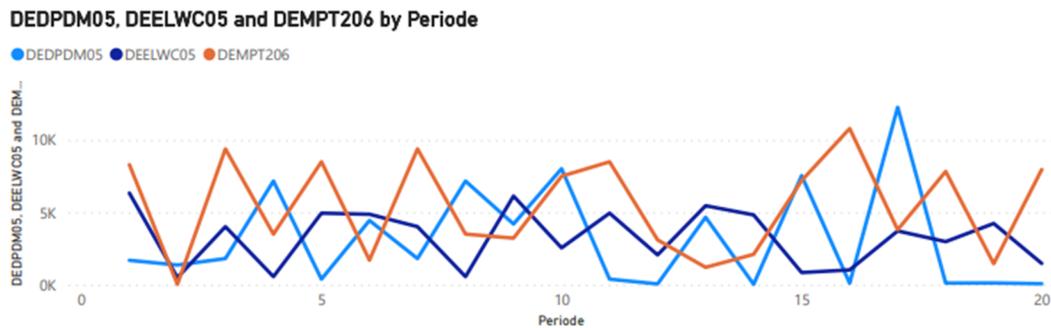


Figure 4.10: H.4 : Résolution PL Étape 4

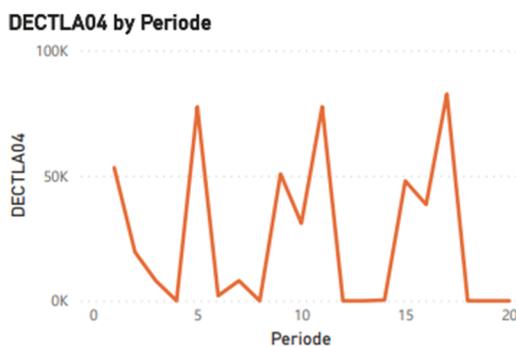


Figure 4.11: H.4 : Résolution PL Étape 4

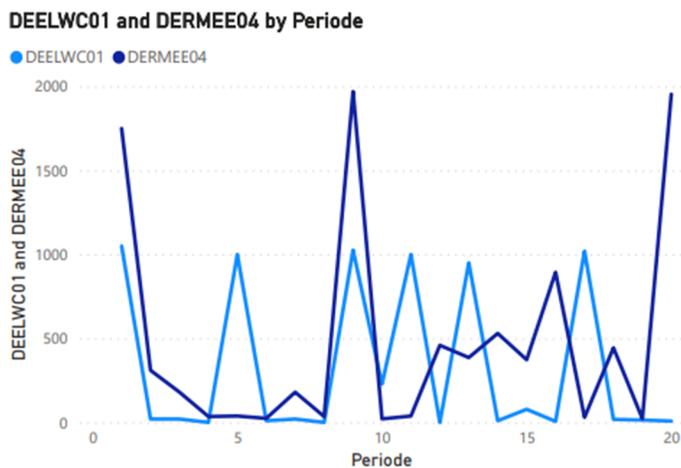


Figure 4.12: H.4 : Résolution PL Étape 4

Annexe J : Previsions statistiques

Corrélogrammes des series temporelles (Screen Views)

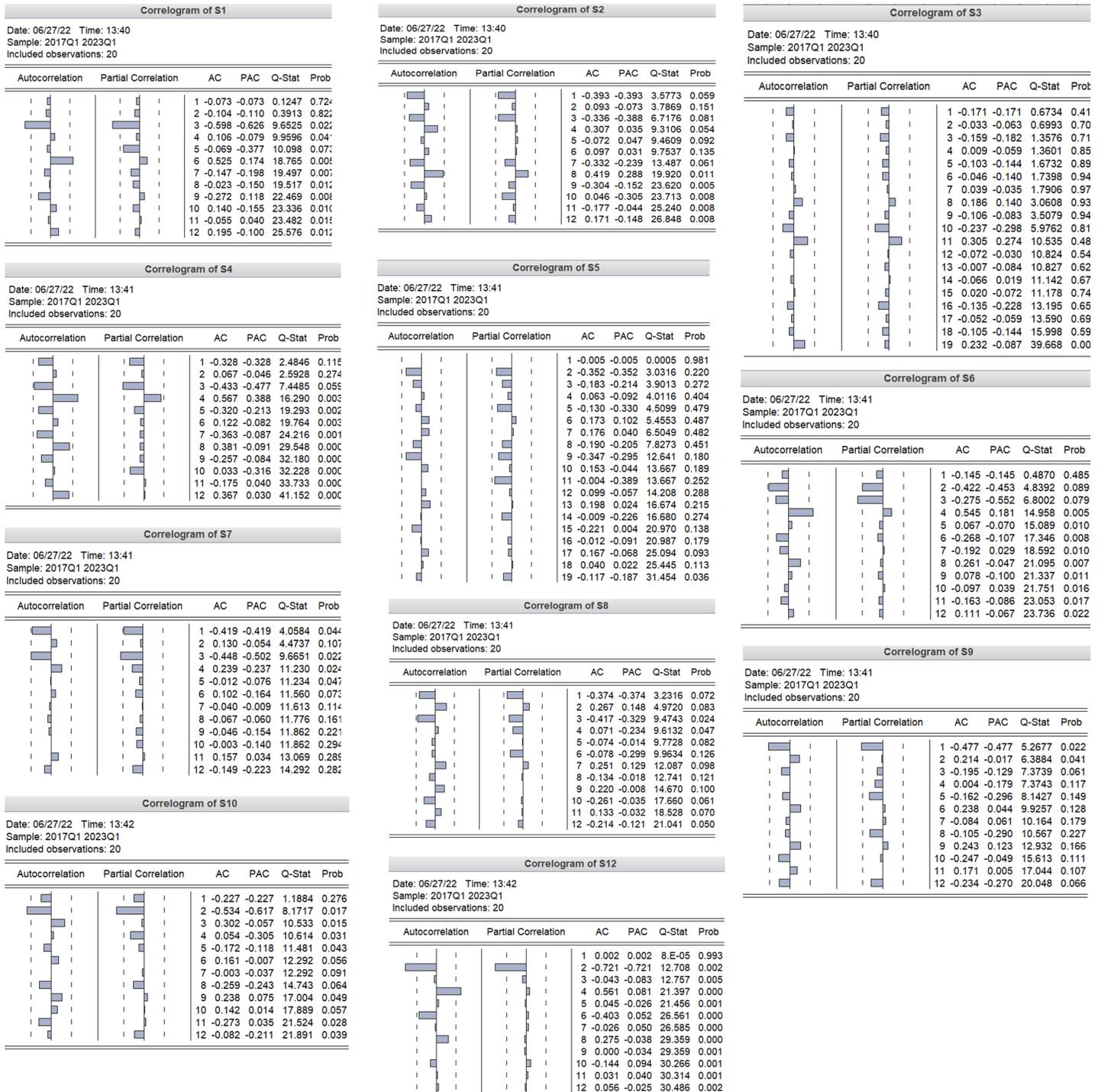


Figure 4.13: Corr elogrammes des series temporelles (Screen Views)

Resultats des tests de Dickey Fuller sur Eviews

Table 4.15: Resultats des tests de Dickey Fuller

Material Group	Resultat du test de DF
DECTLA04	TS
DEELWC05	Stationnaire
DERMEE04	Stationnaire
DEELWC01	Stationnaire
DECTLS06	Stationnaire
SEMRGM02	Stationnaire
DEMPT206	Stationnaire
DEDPDM05	Stationnaire
DEDPDP06	Stationnaire
DEMPT244	Stationnaire
DEMPT251	DS
DECTDI07	Stationnaire

Resultats Previsions BJ

Table 4.16: Prévisions par BJ des 5 prochains trimestres

Material Group	Modele ARMA	janv-22	avr-22	juil-22	oct-22	juil-23
DECTLA04	ARMA(3,0)	0	0	0	0	0
DEELWC05	ARMA(1,1)	4646	4646	4646	4646	4646
DERMEE04	ARMA(10,0)	8	1	1	1	1
DEELWC01	ARMA(3,1)	9	-1	-2	-2	3
DECTLS06	ARMA(2,0)	79	1308	1014	44	100
SEMRGM02	ARMA(3,1)	799	1012	540	672	852
DEMPT206	ARMA(1,3)	883	824	768	716	669
DEDPDM05	ARMA(2,0)	0	0	0	0	0
DEDPDP06	ARMA(0,3)	0	0	0	0	0
DEMPT244	ARMA(0,2)	0	0	0	0	0
DEMPT251	ARMA(3,2)	131	-441	160	-100	338
DECTDI07	ARMA(4,0)	697	493	691	576	645

Resultats Previsions HWNS

Table 4.17: Prévisions HWNS des 5 prochains trimestres

Material Group	janv-22	avr-22	juil-22	oct-22	juil-23
DECTLA04	81496	75584	69671	63759	57846
DEELWC05	12264	12238	12211	12185	12159
DERMEE04	3466	4495	5525	6554	7584
DEELWC01	1023	989	955	921	887
DECTLS06	3222	3156	3090	3023	2957
SEMRGM02	8910	8887	8865	8842	8820
DEMPT206	21433	21435	21438	21440	21443
DEDPDM05	12226	11832	11438	11044	10650
DEDPDP06	7571	7761	7952	8142	8332
DEMPT244	10720	11351	11983	12614	13246
DEMPT251	5628	5380	5133	4886	4639
DECTDI07	3012	2900	2789	2678	2566

Annexe K : Prédiction Code Facebook Prophet

Code Facebook Prophet Prédiction (Complet)

6/17/22, 6:08 PM

Prevision Prophet.ipynb - Colaboratory

▼ Prévisions Avec Facebook Prophet Serie DEMPT251

```
#Installer la bibliothèque sur l'appareil
!pip install prophet

#Connexion et importation des données

import pandas as pd
import pandas_datareader as web
import matplotlib.pyplot as plt
from fbprophet import Prophet
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

df = pd.read_excel('/content/drive/MyDrive/PFE DATA SLB/Serie - DEMPT251.xlsx')

#Afficher les premier ligne de notre tableau
df.head()
```

Drive already mounted at /content/drive; to attempt to forcibly remount, call drive.mount("/content/drive", force_remount=True)

	ds	y
0	2017-01-01	2440
1	2017-04-01	604
2	2017-07-01	2199
3	2017-10-01	1
4	2018-01-01	1001

<https://colab.research.google.com/drive/11bJtzzSh8Vv1uUWATpgEXSHihj8lovGX?hl=fr#scrollTo=gMA6w9bg29ZX&printMode=true>

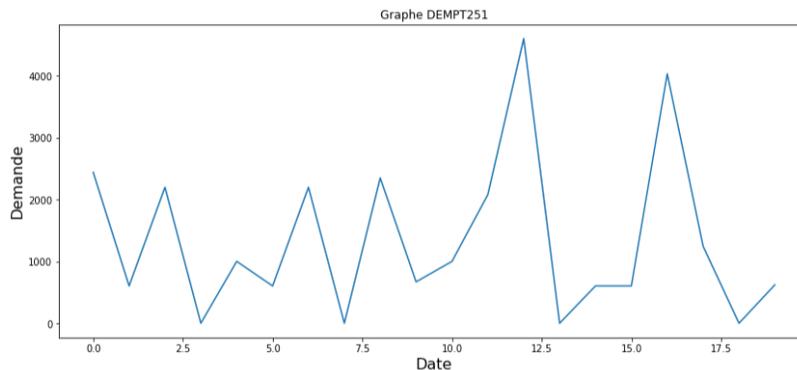
1/4

6/17/22, 6:08 PM

Prevision Prophet.ipynb - Colaboratory

```
#afficher le graphe de notre serie

plt.figure(figsize=(14,6))
plt.title('Graphe DEMPT251')
plt.plot(df['y'])
plt.xlabel('Date',fontsize=16)
plt.ylabel('Demande',fontsize=16)
plt.show()
```



```
#Nous ajustons le modèle
m = Prophet()
m.fit(df)

#Prédiction
future = m.make_future_dataframe(periods=6, freq='Q')
future.tail()
```

<https://colab.research.google.com/drive/11bJtzzSh8Vv1uUWATpgEXSHihj8lovGX?hl=fr#scrollTo=gMA6w9bg29ZX&printMode=true>

2/4

```

6/17/22, 6:08 PM                                Prevision Prophet.ipynb - Colaboratory
forecast = m.predict(future)

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

#Télécharger les prévisions
from google.colab import files
forecast.to_csv('outputSerie1.csv', encoding = 'utf-8-sig')
files.download('outputSerie1.csv')

#Afficher les 5 dernières prévisions
forecast[['ds', 'yhat', 'yhat_lower', 'yhat_upper']].tail()

```

<https://colab.research.google.com/drive/11bJtzzSh8Vv1uUWATpgEXSHihj8lovGX?hl=fr#scrollTo=gMA6w9bg29ZX&printMode=true>

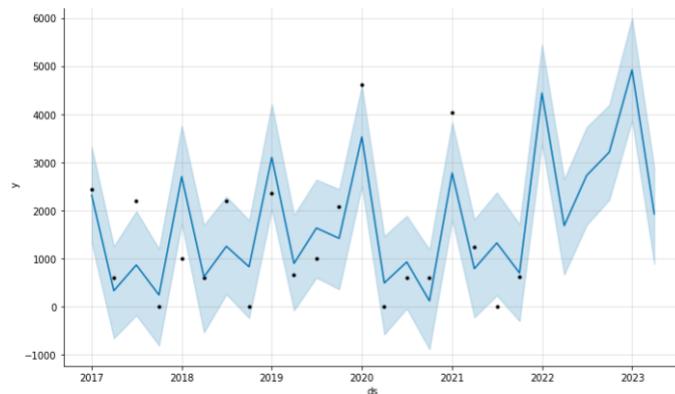
3/4

```

6/17/22, 6:08 PM                                Prevision Prophet.ipynb - Colaboratory
INFO:fbprophet:Disabling weekly seasonality. Run prophet with weekly_seasonality=True to override this.
INFO:fbprophet:Disabling daily seasonality. Run prophet with daily_seasonality=True to override this.
INFO:fbprophet:n_changepoints greater than number of observations. Using 15.

```

	ds	yhat	yhat_lower	yhat_upper
21	2022-03-31	1682.576152	662.865149	2654.015913
22	2022-06-30	2725.449684	1694.043245	3729.795092
23	2022-09-30	3211.358989	2221.944966	4195.531491
24	2022-12-31	4921.156065	3864.570501	5998.287518



✓ 2 s terminée à 17:55

● ×

<https://colab.research.google.com/drive/11bJtzzSh8Vv1uUWATpgEXSHihj8lovGX?hl=fr#scrollTo=gMA6w9bg29ZX&printMode=true>

4/4

Figure 4.14: Code Facebook Prophet ScreenShot (Googlecolab)

Résultats Prévisions Facebook Prophet

Table 4.18: Prévisions Facebook Prophet des 5 prochains trimestres

Material Group	janv-22	avr-22	juil-22	oct-22	juil-23
DECTLA04	20821,14	20403,09	19985,05	19553,06	19135,02
DEELWC05	2860,22	2814,49	2768,77	2721,52	2675,79
DERMEE04	592,69	604,02	615,35	627,06	638,39
DEELWC01	220,52	209,83	199,13	188,08	177,39
DECTLS06	761,03	753,27	745,5	737,48	729,72
SEMRGM02	2038,71	2033,15	2027,6	2021,86	2016,31
DEMPT206	5520,45	5528,12	5535,79	5543,72	5551,39
DEDPDM05	2944,09	2920,85	2897,61	2873,6	2850,36
DEDPDP06	1867,47	1857,18	1846,89	1836,26	1825,97
DEMPT244	2332,35	2320,21	2308,06	2295,51	2283,36
DEMPT251	1682	2725	3211	4921	1927
DECTDI07	670,9	656,05	641,21	625,86	611,02

Annexe L : CODE VBA Rattaché a la Solution

```

'Bouton qui actualise la demande'
Private Sub CommandButton1_Click()
'Declaration des variables'
Dim FichierGold As Variant
Dim MonClasseur As Workbook

'On efface les enciennes donnees'
Feuill.Range("A1").CurrentRegion.Clear

'On Recupere le Fichier Gold'
FichierGold = Application.GetOpenFilename(Title:="Veuillez Sélectionnez, votre Fichier Gold le plus
récent.", filefilter:="Fichier Excel(*.xls*),*xls*", ButtonText:"Cliquez")

'Cas du bouton annuler'
If FichierGold <> False Then

    'On ouvre le fichier Gold'
    Set MonClasseur = Application.Workbooks.Open(FichierGold)
    'On copie les donnees'
    LastGold = MonClasseur.Sheets(1).Range("b1").End(xlDown).Row
    MsgBox (LastGold)
    For n = 2 To LastGold
        ThisWorkbook.Sheets(1).Cells(n, 1).Value = MonClasseur.Sheets(1).Cells(n, 15).Value
        ThisWorkbook.Sheets(1).Cells(n, 2).Value = MonClasseur.Sheets(1).Cells(n, 30).Value
        ThisWorkbook.Sheets(1).Cells(n, 3).Value = MonClasseur.Sheets(1).Cells(n, 84).Value
        ThisWorkbook.Sheets(1).Cells(n, 4).Value = MonClasseur.Sheets(1).Cells(n, 85).Value
        ThisWorkbook.Sheets(1).Cells(n, 5).Value = MonClasseur.Sheets(1).Cells(n, 87).Value
    Next n
    'On ferme le fichier Gold'

    MonClasseur.Close
    'on appelle la macro qui filtre nos donnees(Material Group)
    Call Macro6
    'On appelle la macro qui organise nos donnees (En trimestre)'
    Call Macro7
    'On somme les qts de chaque trimstre de chauge material Group'
    Last = ThisWorkbook.Sheets(7).Range("b1").End(xlDown).Row
    For n2 = 2 To Last

        For n3 = 2 To 40
            If (ThisWorkbook.Sheets(7).Cells(n2, 9).Value = ThisWorkbook.Sheets(5).Cells(n3, 1).Val
ue) Then
                For n4 = 2 To 14
                    If (ThisWorkbook.Sheets(7).Cells(n2, 10).Value = ThisWorkbook.Sheets(5).Cells(1
, n4).Value) Then
                        ThisWorkbook.Sheets(5).Cells(n3, n4).Value = ThisWorkbook.Sheets(5).Cells(r
3, n4).Value + ThisWorkbook.Sheets(7).Cells(n2, 1).Value
                    End If
                Next n4
            End If

        Next n3
    Next n2
    'On appelle la macro qui copy les 20 dernieres lignes de demande sur la page des previsions
,
    Call Macro1
    'On appelle la macro qui recopie les resultat des prevision sur le tableau du modele'
    Call Macro2
    'Fin : Données actualisées'
End If

End Sub

```



```

Sub Macro7()
'
' Macro7 Macro
'
'
Columns("E:E").Select
Selection.NumberFormat = "m/d/yyyy"
Range("F2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MONTH(RC[-1])"
Range("F2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("F2:F1291")
Range("F2:F1291").Select
Range("G2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-1]>9,4,IF(RC[-1]>6,3,IF(RC[-1]>3,2,1)))"
Range("G2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("G2:G1291")
Range("G2:G1291").Select
Range("H2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=YEAR(RC[-3])"
Range("H2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("H2:H1291")
Range("H2:H1291").Select
Range("I2").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]&RC[-2]"
Range("I2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("I2:I1291")
Range("I2:I1291").Select
Range("I5").Select
Sheets("Feuil1").Select
Range("G3:G14").Select
Selection.Copy
Sheets("data3").Select
Range("L2").Select
ActiveSheet.Paste
Range("J2").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MATCH(RC[-8],R2C12:R13C12,0)"
Range("J2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("J2:J1291")
Range("J2:J1291").Select
End Sub

```