

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Béjaïa

Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle

MÉMOIRE DE MASTER EN

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Option :

Modélisation Mathématique et Techniques de Décision



THÈME :

*Affectation optimale des palettes au
niveau de la chambre froide de la
margarinerie de CEVITAL*

PRÉSENTÉ PAR :

M^{lle} Berbache Lahna

M^{lle} Moussaoui Damia

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président :	M ^{lle} Zohra AOUDIA,	MCB,	Université de Béjaïa
Rapporteur :	M ^r Djamil AISSANI,	Professeur,	Université de Béjaïa
Examineurs :	M ^{lle} Fouzia GHELLAB,	Doctorante,	Université de Béjaïa
	M ^{lle} Lamia LAKAOUR,	Doctorante,	Université de Béjaïa
Invités :	M ^r Y. CHIBOUTI,	Chef ECG,	CEVITAL
	M ^r L. HAROUNE,	Responsable des réseaux universitaires,	Université de Béjaïa

Année Universitaire 2014 – 2015

Remerciements

Au terme de ce travail, il est agréable d'adresser nos remerciements à Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage de finir ce modeste travail.

En premier lieu, Nous sommes très heureux de saisir cette occasion pour exprimer nos profondes et respectueuses reconnaissances à notre promoteur, Monsieur, le professeur **AISSANI Djamil**, pour nous avoir suivi dans notre humble travail avec une extrême bienveillance, ses remarques, ses conseils judicieux, sa rigueur et son expérience ont amélioré notre travail et permis sa mise au point définitive.

Nous remercions vivement M^{elle} **Zohra AOUDIA** pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Nos remerciements chaleureux s'adressent également à M^{elle} **Fouzia GHELLAB** et à M^{elle} **Lamia LAKAOUR** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement nos chers enseignants de LAMOS, qui ont toujours montré leur écoute, leur aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer tout au long de la réalisation de ce mémoire, en particuliers : M^{elle} Z. AOUDIA, M^r CHARFAOUI, M^r YOUSEFI, M^{me} TABTI, M^{me} LEKADIR, M^r et M^{me} BOURAINE, M^{elle} HOCINE. Et tous ceux que nous avons rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur HAROUNE Lamine : Responsable des réseaux universitaires pour sa générosité et la grande patience dont il a su faire preuve malgré ses charges académiques et professionnelles.

Nous exprimons ainsi nos gratitude à Monsieur CHIBOUTI.Younes le chef de l'unité expédition corps gras à CEVITAL, d'avoir accepté nous encadrer durant notre stage à CEVITAL et nous le remercierons vivement pour sa patience et ses conseils.

Nous tenons également à remercier très chaleureusement les collègues et amis qui ont partagé avec nous ces différentes années à l'université de Béjaia en particulier notre promotion MMTD 2015. Nous remercions toutes nos familles et spécialement nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Nos sincères gratitude vont vers tous ceux qui ont prêté mains fortes, et qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Berbache Lahna.

Moussaoui Damia.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

La personne devant laquelle tous les mots de l'univers sont incapables d'exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve envers elle, à l'être qui m'est le plus cher, à ma douce mère. Puisse ce travail être la récompense de tes soutiens moraux et sacrifices. Mère, si tu savais combien je t'aime.

Mon cher père qui a payé plusieurs années d'amour et de sacrifices qu'il s'est imposé pour assurer mon bien être et mon éducation et le prix de ma façon de penser. Père, je te remercie d'avoir fait de moi une femme.

Mes frère : Rabia, fahim, hamza, boussad, yanick, islam, mes adorables sœurs : Hakima, Soraya et Hassiba et la petite : Asma, en particulier Adam, je t'aime mon bébé.

A mes amis qui restent à mes côtés au milieu des temps de sable et en basse mer.

A la plus chère personne qui a été toujours à mes cotés zahir.

A toute ma famille BERBACHE.

A La belle équipe de Décembre, mes adorables : Damia, Nawal, Thiziri.

A ma binôme avec qui j'ai réalisé cet humble travail DAMIA et tous sa famille.

A tous ceux qui m'ont aidé à faire du bien ou qui m'ont empêché de faire du mal.

A tous mes amis.

Qu'Allah vous protège.

Berbache Lahna.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Aux personnes qui comptent le plus chères pour moi qui sont mes chers parents pour leur patience et leur aide durant toutes ces longues années.

A ma chère sœur Nassima et son mari avec leurs fils Amine, Faouaz et Chaban.

A mon frère : Redouan, sa femme karima et sa fille Asma.

A mes frères : Talbi, Hamana, Nassim et sa fiancé Ryma.

A toute ma famille paternelle et ma famille maternelle.

A ma binôme Lahna et sa famille.

A tous mes ami(e)s et toutes les personnes qui m'aiment et que j'aime.

A toute la promotion Recherche Opérationnelle 2014 /2015.

Moussaoui Damia.

Table des matières

Table des Matières	5
Introduction Générale	16
1 Présentation du groupe CEVITAL Béjaia	20
1.1 Historique	20
1.2 Biographie du Fondateur	22
1.3 Complexe CEVITAL FOOD	22
1.3.1 Présentation	22
1.3.2 Implantation géographique de CEVITAL FOOD	23
1.3.3 Activités et missions :	24
1.3.4 Les atouts de l'entreprise CEVITAL :	25
1.3.5 Unités de production	26
1.3.6 Unités de stockage	27
1.3.7 Matières premières et produits finis	27
1.3.8 Structure hiérarchique	28
1.4 Unité margarinerie	35
1.4.1 Historiques de la margarine	35
1.4.2 Définition de la margarine	35
1.4.3 Composition de la margarine	35
1.4.4 Processus de fabrication de la margarine	35
1.4.5 Différents types des produits margarine	39
1.4.6 Présentation et structure de l'unité margarinerie	41
1.5 Processus de stockage et chambre froide	43
1.5.1 Structure et caractéristiques de la chambre froide	43

1.5.2	Processus de stockage	45
1.5.3	Processus de commande	45
1.5.4	Quelques caractéristiques	46
1.6	Position du problème	49
2	Notions de base	51
2.1	Prévision	51
2.1.1	Classification des données	51
2.1.2	Introduction aux prévisions	53
2.1.3	Mesure des erreurs de prévision	54
2.1.4	Généralités sur les séries chronologiques	54
2.1.5	Processus bruit blanc	56
2.1.6	Principe de stationnarité	56
2.1.7	Fonction d'autocovariance	58
2.1.8	Fonction d'autocorrélation	58
2.1.9	Fonction d'autocorrélation partielle	59
2.1.10	Modélisation et prévision	59
2.1.11	Description des modèles de prévision	61
2.2	Simulation et test d'ajustement	72
2.2.1	Définition	72
2.2.2	Les étapes d'une simulation	75
2.2.3	Intérêt, avantages et inconvénients de la simulation	76
2.2.4	Les techniques de la simulation	77
2.2.5	Tests d'ajustement	78
2.3	Files d'attente	80
2.3.1	Chaîne de Markov	80
2.3.2	Processus de comptage	81
2.3.3	Processus de Poisson	82
2.3.4	Processus de naissance et de mort	82
2.3.5	Le formalisme files d'attente	82
2.3.6	Notation de Kendall	83
2.3.7	Notion de classes de clients	84
2.3.8	Mesures de performance d'une file d'attente	84
2.3.9	Stabilité	85

2.3.10	Les files d'attente markoviennes	85
2.3.11	Les files d'attente non markoviennes	86
2.3.12	Priorité relative	88
2.4	Réseaux de files d'attente	89
2.4.1	Les réseaux ouverts	89
2.4.2	Les réseaux fermés	90
2.4.3	Les réseaux multi-classes	90
2.4.4	Réseaux mixtes	91
2.4.5	Réseaux à forme produits	92
2.4.6	Réseaux de Jackson	92
2.4.7	Les réseaux BCMP	93
2.4.8	Caractéristiques d'un réseau de files d'attente	93
2.5	Bases de données	94
2.5.1	Définition d'une base de données	94
2.5.2	Système de Gestion de Base de Données (SGBD)	94
2.5.3	Le modèle relationnel	94
2.5.4	Opérateurs relationnels	95
2.5.5	Formes normales	95
2.5.6	Langage SQL	96
2.6	Logiciels et outils informatiques	96
2.6.1	R	96
2.6.2	EasyFit	97
2.6.3	JMT	98
3	Etude Prévisionnelle	100
3.1	Collecte des données	100
3.2	Choix des éléments à étudier	100
3.2.1	Classification ABC selon la production	101
3.2.2	Classification ABC selon les ventes	102
3.2.3	Classification ABC selon le stock	103
3.2.4	Interprétation des résultats	104
3.3	Calcul des prévisions	104
3.3.1	Prévision de production	104
3.3.2	Prévision de vente	119

3.3.3	Prévision stock	121
4	Modélisation et évaluation des performances	124
4.1	Modélisation analytique du système	124
4.1.1	Description des principaux mouvements de l'unité margarinerie	125
4.1.2	Identification des lois des flots d'arrivées et durées de service	128
4.2	Résolution par simulation	135
4.2.1	Résultats de la simulation sous les conditions actuelles	136
4.2.2	Simulation des performances dans le cas de variation des paramètres dans le 3 ^{ème} sous-système (stockage)	141
5	Conception et résolution	153
5.1	Modélisation de la chambre froide	153
5.2	Présentation de l'environnement de travail	154
5.2.1	Outils utilisés	154
5.2.2	Java	154
5.2.3	XAMPP(X Apache MySQL Perl PHP)	155
5.2.4	PhpMyAdmin	155
5.2.5	NetBeans	156
5.2.6	JDBC (Java Data Base Connectivity)	156
5.2.7	Language SQL (Structured Query Language)	156
5.3	Conception et Implémentation de l'application	157
5.3.1	Création de la base de données	157
5.3.2	Règles de la gestion	159
5.3.3	Capture et présentation des interfaces	159
	Conclusion générale	163
	Bibliographie	164
	A Annexe A : CEVITAL	169
	B Annexe B : Lois usuelles	173
	C Annexe C : Lois des données ajustées	175

Table des figures

1.1	L'emplacement géographique du complexe CEVITAL	23
1.2	Structure hiérarchique du complexe CEVITAL	29
1.3	Processus de fabrication de margarine	36
1.4	Process des linges de production	37
1.5	Structure de la margarinerie	41
1.6	La chambre froide	44
1.7	Les blocs de la chambre froide	44
1.8	Rayonnage	44
1.9	Rayonnage dynamique	44
1.10	Processus de commande	46
1.11	La palette	47
1.12	Camions avec cellule frigorifique	48
1.13	Stockage en triangle	49
2.1	La classification ABC	52
2.2	Les étapes de la méthode de Box et Jenkins	69
2.3	Modèle de simulation	74
2.4	Etapas de simulation	74
2.5	Réseau ouvert.	90
2.6	Réseau fermé.	90
2.7	Réseau ouvert, fermé et mixte	91
2.8	La fenêtre principale de JMT	99
3.1	Diagramme de Pareto des productions	102
3.2	Diagramme de Pareto des ventes	103

3.3	Diagramme de Pareto des stocks	104
3.4	Graphe de la série originale production-Feuilletage	105
3.5	Graphe de la série originale Feuilletage500g et ses différentes composantes	106
3.6	Graphe de la série originale Feuilletage et son ajustement	110
3.7	Graphe de la série originale Feuilletage et sa prévision	111
3.8	Corrélogramme de la série originale Feuilletage	112
3.9	Corrélogramme partiel de la série originale Feuilletage	112
3.10	Graphe de la série transformée et différenciée de Feuilletage500g	112
3.11	Corrélogramme de la série transformée Feuilletage	113
3.12	Corrélogramme partiel de la série transformée Feuilletage	113
3.13	Corrélogramme des résidus Feuilletage	116
3.14	Corrélogramme partiel des résidus Feuilletage	116
3.15	Graphe de la série F500g originale et sa prévision	117
4.1	Mouvements des produits dans la margarinerie	125
4.2	Processus de mise en carton	126
4.3	Processus du mouvement de palettisation	127
4.4	Processus du mouvement de stockage	128
4.5	Graphe du réseau de files d'attente implémenté sous JMT	136
4.6	Nombre de palettes dans la chambre froide en fonction du taux d'arrivé de shortening 38/40	142
4.7	Nombre de palettes de smen 1.8Kg dans le système (chambre froide) en fonction du taux d'arrivées	143
4.8	Graphe de la variation de taux d'arrivées par apport au nombre de palettes de feuille- tage 500g dans le système (chambre froide)	144
4.9	Nombre de palettes de dans le système (chambre froide) en fonction du taux d'arrivées de matina 400g en fonction du	145
4.10	Graphe de la variation du taux de service par rapport au nombre de palettes de shortening 38/40 dans la chambre froide	147
4.11	Graphe de la variation du taux de service smen 1.8Kg dans la chambre froide	148
4.12	Graphe de la variation du taux de service de Feuilletage 500g dans la chambre froide .	149
4.13	Graphe de la variation du taux de service matina 400g dans la chambre froide	150
5.1	La base de données bdro	157
5.2	La table chambre	157

5.3	La table bloc	157
5.4	La table rayon	158
5.5	La table cellule	158
5.6	La table produit	159
5.7	Interface Principale	160
5.8	Interface afficher produit	161
5.9	Interface Etat chambre (nombre de vides)	161
5.10	Interface Réserver	162
C.1	Histogramme des arrivés à la ligne 1	175
C.2	Histogramme du service encarteneuse 6	176
C.3	Histogramme des arrivés à la ligne 2	176
C.4	Histogramme du service encarteneuse 5	177
C.5	Histogramme des arrivés à la ligne 6	177
C.7	Histogramme des arrivés à la ligne 3	178
C.6	Histogramme du service encarteneuse 3	178
C.8	Histogramme du service encarteneuse 4	179
C.9	Histogramme des arrivés à la ligne 4	179
C.10	Histogramme du service encarteneuse 1	180
C.11	Histogramme des arrivés à la ligne 5	180
C.12	Histogramme du service encarteneuse 2	181
C.13	Histogramme du service palettiseur A (client1)	181
C.14	Histogramme du service palettiseur A (client2)	182
C.15	Histogramme du service palettiseur B (client1)	182
C.16	Histogramme du service palettiseur B (client2)	183
C.17	Histogramme du service palettiseur C (client1)	183
C.18	Histogramme du service palettiseur C (client2)	184
C.19	Histogramme des inter-arrivées à la chambre froide	184
C.20	Histogramme du service chambre froide	185

Liste des tableaux

1.1	Tableau des unités de production et leurs capacités	26
1.2	Types des produits 'margarine'	39
1.3	Classification des produits selon la sensibilité au froid	40
2.1	Critères de choix d'un modèle de prévision.	70
3.1	Classification ABC production	101
3.2	Classification ABC vente	102
3.3	Classification ABC stock	103
3.4	Production Feuilletage 500g 2009/2014	104
3.5	Les coefficients saisonniers de la série Feuilletage 500g suivant le modèle additif	107
3.6	Les résidus du modèle additif	108
3.7	Les coefficients saisonniers de la serie Feuilletage 500g suivant le modèle multiplicatif	109
3.8	Les résidus du modèle multiplicatif	109
3.9	Comparaison des résidus des deux modèles	110
3.10	Prévision de production Feuilletage 500g pour l'année 2015 par LE	111
3.11	Prévision de production Feuilletage 500g pour l'année 2015 par BJ	116
3.12	Comparaison des prévisions de Feuilletage500g avec la réalité	117
3.13	Comparaison des prévisions de production <i>Shortening</i> 38/40 avec la réalité	118
3.14	Comparaison des prévisions de production Smen avec la réalité	118
3.15	Prévision de vente Feuilletage 500g pour l'année 2015 par LE	119
3.16	Prévision de vente Feuilletage 500g pour l'année 2015 par BJ	119
3.17	Prévision par lissage de vente Shortening 38/40 pour l'année 2015 par LE	120
3.18	Prévision de vente Shortening 38/40 pour l'année 2015 par BJ	120
3.19	Prévision de vente Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par LE	120

3.20	Prévision de vente Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par BJ	121
3.21	Prévision de stock Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par LE	121
3.22	Prévision de stock Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par BJ	121
3.23	Prévision de stock Feuilletage 500g pour l'année 2015 par LE	122
3.24	Prévision de stock Feuilletage 500g pour l'année 2015 par BJ	122
3.25	Prévision de stock Shortening 38/40 pour l'année 2015 par LE	122
3.26	Prévision de stock Shortening 38/40 pour l'année 2015 par BJ	123
4.1	Ajustement de la loi des arrivées des produits dans le mouvement production	129
4.2	Ajustement des lois de service des encartonneuses dans le mouvement production . . .	130
4.3	Ajustement des lois des inter-arrivées des cartons aux palettiseurs	131
4.4	Ajustement des lois de service des palettiseurs	132
4.5	Ajustement de loi des inter-arrivées des palettes dans la chambre froide des quatre produits	133
4.6	Ajustement de la loi de service des palettes dans la chambre froide des trois types de produits	134
4.7	Performances du 1 ^{er} sous-système par simulation du fonctionnement actuel	136
4.8	Performances du Palettiseur A du 2 ^{ème} sous-système par la simulation du fonctionnement actuel	138
4.9	Performances du Palettiseur B du 2 ^{ème} sous-système par la simulation du fonctionnement actuel	139
4.10	Performances du Palettiseur C du 2 ^{ème} sous-système par la simulation du fonctionnement actuel	139
4.11	Performances du 3 ^{ème} sous-système par simulation du fonctionnement actuel	140
4.12	Influence du taux de trafic (λ) de Shortening 38/40 sur la capacité du stock	142
4.13	Variation du taux d'arrivées (λ) pour Smen 1.8Kg	143
4.14	Variation du taux d'arrivées (λ) pour Feuilletage 500g	144
4.15	Variation du taux d'arrivées (λ) pour matina 400g	145
4.16	Variation de la durée de séjour (μ) pour Shortening 38/40	146
4.17	Variation de la durée de séjour (μ) pour smen 1.8Kg	147
4.18	Variation de la durée de séjour (μ) pour Feuilletage 500g	148
4.19	Variation de la durée de séjour (μ) pour matina 400g	149
4.20	Variation du capacité de stockage et durée de séjour en fonction du nombre de serveurs	151
A.1	Données de production 2013/2014	170

A.2	Données de stock 2013/2014	171
A.3	Données des ventes 2013/2014	172

Abréviations

AR	AutoRegressif.
MA	Moving Average.
ARMA	AutoRegressif Moving Average.
ARIMA	AutoRegressif Integrated Moving Average.
SARIMA	Seasonal AutoRegressif Integrated Moving Average.
ACF	AutoCorrelation Function.
PACF	Partial AutoCorrelation Function.
EMR	Erreur Relative Moyenne.
MAD	Mean Absolute Deviation (déviation absolue moyenne).
MSE	Mean Square Error (Moyenne du carré des erreurs).
MFE	Mean Forecast Error (Erreur de prévision moyenne).
MAPE	Mean Absolute Percentage Error (Pourcentage d'erreur absolue moyen).
SQL	Stuctured Query Language (Langage de Requete structuree).
SGBD	Systeme de gestion de base de donnees.
Mysql	My Structured Query Language (Mon Language de Requete Structure).
LE	Lissage Exponentiel.
BJ	Box et Jenkins.
BP	Box - Pierce.
LB	Ljung et Box.
F500g	Feuilletage500g.
LAMOS	LABoratoire de Modélisation et Optimisation des Systèmes.

Introduction Générale

L'évolution de l'économie mondiale, et de même l'évolution de l'économie algérienne, et l'ouverture des systèmes pour s'intégrer en économie de marché, a permis la naissance de nouveaux projets d'entreprise.

Dans le but de contribuer à l'évolution de l'économie, de couvrir des besoins de la société et de répondre à ses exigences, plusieurs pays ont adopté l'économie de marché pour valoriser le marché et le rendre plus rassurant. Par conséquent, le terme concurrence devient un enjeu dans le monde industriel. C'est pour cela que chaque entreprise doit avoir son plan de gestion pour qu'elle soit à la hauteur de ses engagements et espérer monopoliser le marché par ses produits afin d'acquérir le statut de leader [26].

L'intégration de l'entreprise en agro-alimentaire - CEVITAL - dans l'économie de marché, lui a permis d'être leader en Algérie, en tant qu'entreprise industrielle dont le processus de production, défini comme étant la transformation de matières premières en produits finis, n'échappe pas aux règles d'écologie et la protection de l'environnement [50].

Dans ce contexte, la demande sur ses produits, les matières premières, ainsi que la chaîne de production représentent les facteurs interactifs qui peuvent engendrer un déphasage menant l'entreprise à des pertes considérables. D'où la nécessité d'un contrôle permanent et rationnel des différents processus de son fonctionnement, notamment le stockage, afin de réduire ses risques de rupture du stock. La meilleure façon de réaliser l'équilibre est de gérer ses stocks d'une manière judicieuse. Les stocks constituent donc à la fois, une nécessité et une contrainte financière importante pour l'entreprise, c'est pourquoi la gestion des stocks va devoir être traitée sérieusement par l'entreprise [26, 50].

Plusieurs entreprises algériennes y compris CEVITAL, ont dès le départ pris conscience de la nécessité de promouvoir des relations universités entreprises privilégiées, et faire appel aux méthodes mathématiques, informatiques ou économique pour traiter et résoudre leurs problèmes. L'université

de Béjaia a concrétisé cet accord de collaboration en entamant une variété d'études dans plusieurs entreprises, notamment CEVITAL qui dispose d'une gamme des produits importante. Ce qui a nécessité un contrôle continu de leur qualité que les biologistes ont fait part dans plusieurs travaux [2, 44, 7].

L'enregistrement de tous les mouvements et processus effectués au niveau du complexe CEVITAL, et la nécessité de la communication persistante, étant indispensables pour une meilleure flexibilité ; dans ce contexte, plusieurs applications de gestion des stocks et de manipulation des bases de données, ainsi que des sites web ont été développés par les informaticiens de l'université de Béjaia [47, 48].

Et comme toute autre entreprise, le complexe CEVITAL de Béjaia n'échappe pas à la nécessité de faire appel aux méthodes mathématiques de la recherche opérationnelle pour traiter et résoudre ses problèmes, notamment les problèmes de gestion des stocks résolus en appliquant des modèles stochastiques ou même déterministes [23, 49, 4].

Le complexe agroalimentaire CEVITAL, se trouve confronté à une forte mutation de son environnement se traduisant par une compétition devenue rude, un marché incertain, une clientèle de plus en plus exigeante sur le coût, la qualité du produit, les délais de livraison, l'instabilité des prix des matières premières (comme les huiles brutes sur le marché mondial) et la gestion d'entrepôt. Ces diverses contraintes imposent automatiquement une amélioration croissante de la productivité tout en recherchant une grande flexibilité des moyens de production afin d'adapter la capacité des systèmes productifs à des modifications de la demande et aux événements internes du système productif.

Au cours de notre stage effectué au sein de l'unité de margarinerie (CEVITAL Food), nous avons réalisé une analyse du système productif jusqu'au processus de stockage au niveau de la chambre froide, à savoir : les flux d'entrée et sortie de la chambre. Nous avons constaté que l'entreprise ignore l'état physique du stock existant dans la chambre froide vu sa structure en étage, ainsi que le flux de demande. Ceci est à l'origine de plusieurs problèmes rencontrés actuellement, relatifs au processus de stockage et de déstockage des produits 'margarine', notamment le surstock et le dépassement des dates de péremption dû au long séjour des produits dans le stock, ce qui est interprété par une mauvaise gestion d'entrepôt.

Ce problème a fait l'objet de deux études réalisées au niveau de l'unité margarinerie dont l'objectif diffère. La première étude [49] était faite en 2011 par M^r Benkhellat et M^r Moussaoui sous le thème "La modélisation markovienne du problème de gestion des stocks, cas unité de margarinerie, CEVITAL ". Dans cette étude les auteurs ont proposé une application sur Delphi7 qui donne au

gestionnaire toutes les informations concernant la totalité des produits présents dans la chambre froide (Quantité restante en stock, seuil min et seuil max, l'emplacement, vérification des dates de péremption ...). Une deuxième étude [23] a été réalisé, en 2013 sur le même problème par M^r Bedjou, sous le thème 'Le pilotage du stock de la chambre froide de la margarinerie de CEVITAL'. Il s'agissait de développer une application, sous Delphi7 sous le nom FLOW MAAGER. Il a été proposé une manière d'affectation des palettes, ainsi que la quantité d'approvisionnement nécessaire en appliquant le modèle (Q, r, T) .

Les chambres froides désignées pour le stockage de margarine, ont débuté en 2009 en Europe vu la nécessité de place et froid. Les dernières conceptions sont basées sur la structure étagée et dynamique afin de faciliter le déstockage. Ceci explique la complexité des problèmes de gestion d'entrepôt. Le travail réalisé dans ce mémoire consiste à prévoir les quantités des entrées et sorties de la chambre froide de CEVITAL, à évaluer les performances de cette dernière, et enfin à proposer une méthode optimale de gestion d'entrepôt.

Il s'agit d'assurer une meilleure flexibilité entre la production et la vente. Une analyse a pu éclairer plusieurs points nécessaires pour cette étude : des données statistiques ou d'information utile.

Notre but est d'étudier le fonctionnement de l'unité margarinerie de CEVITAL FOOD en se basant sur la chambre froide. L'objectif est d'ordre opérationnel. Il consiste à la mise en place d'une politique optimale pour le stockage des palettes de la margarinerie dans la chambre froide.

Ce mémoire comprend une introduction, cinq chapitres, une conclusion, une bibliographie et trois annexes.

Le premier chapitre comporte une présentation du complexe CEVITAL, à partir de ses caractéristiques historique, géographique, administrative et plus particulièrement de son unité margarinerie, de ses différents mouvements et de la structure de sa chambre froide. Nous y apporterons des précisions sur le parcours des produits 'margarine', depuis leur fabrication jusqu'à expédition. Nous terminerons par la position du problème.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des différentes notions de base qui nous seront utile dans notre étude : prévisions, ajustement, simulation, files d'attente et bases de données...

L'analyse de données collectées au niveau de cette entreprise, était mentionnée dans le troisième chapitre. Nous avons donc établi une classification **ABC** pour les produits, et par la suite nous avons présenté les résultats de l'application des deux méthodes lissage exponentiel et Box et Jenkins pour

établir les prévisions de production, vente et stock des produits phares, tout en comparant ces dernières avec la réalité.

La présentation du modèle analytique retenu pour modéliser le parcours d'un produit dans la margarinerie, passant par : la production, palettisation et stockage ; fait l'objet du chapitre quatre. Les performances actuelles de la chambre froide qui fait l'objet de l'étude, ont été calculées en utilisant le simulateur prédéfini **JMT**. Deux propositions sont données pour prévoir le comportement du stockage dans le cas où certains paramètres sont pris en considération. Ces paramètres sont : la variation du taux de service dans la chambre froide et la capacité de stockage dans la chambre froide.

Le cinquième chapitre a été consacré à la présentation de notre application java, développée sur le logiciel à interface graphique "**Netbeans java**". On a proposé un algorithme permettant la recherche des emplacements pour les palettes dans la chambre froide en tenant compte de certaines contraintes d'entreposage, dans le but de minimiser la durée de séjour des palettes dans le stock.

Chapitre 1

Présentation du groupe CEVITAL Béjaia

Introduction

La reconnaissance de l'entreprise est indispensable pour la détection et la compréhension du problème qui fait l'objectif d'étude. Pour cela, ce chapitre est consacré à la représentation détaillée des différentes unités, équipements et fonctionnement de CEVITAL.

1.1 Historique

Le Groupe CEVITAL est un Groupe familial bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée ; Créée avec des fonds privés, elle est la première société privée algérienne à avoir investi dans plusieurs secteurs d'activités.

Le Groupe CEVITAL a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre la taille et la notoriété d'aujourd'hui en continuant à œuvrer dans la création d'emplois et de richesse.

les Etapes historiques du Groupe sont les suivants [11, 50] :

- **1971** Prise de participation dans SO.CO.MEG : Construction métallique
- **1975** Création de PROFILOR : Construction métallique
- **1979** Acquisition de SOTECOM : Construction métallique
- **1984** Acquisition de SACM : Construction métallique
- **1985** Création d'ENALUX : Construction métallique
- **1986**
 - Création de NORD METAL : Fabrication de grillage et toile à tamis
 - Création de METALLOR : Fabrication de tubes en acier
- **1988** Création de METAL SIDER : Sidérurgie
- **1991**

- Création de J.B.M. : Reprise des activités d'I.B.M. en Algérie
- Création de Liberté : Quotidien d'information
- **1992** Création de CBS : Reprise des activités de RANK XEROX en Algérie
- **1995** Création d'AGRO-GRAIN : Importation et distribution de produits agroalimentaires
- **1997** Création de HYUNDAI MOTORS ALGERIE : Distribution de véhicules et services après-vente (distributeur officiel de la marque Coréenne en Algérie)
- **1998** Création de CEVITAL SPA : Industries agroalimentaires
- **2000** Création de NOLIS : Transport maritime
- **2005** :
 - Acquisition de Lalla Khedidja : Unité d'eau minérale plate et gazeuse et de sodas
 - Création de CEVICO : Fabrication de bâtiment préfabriqué en béton
- **2006** :
 - Acquisition de COJEK, filiale de ENAJUC : Jus de fruits et conserves
 - Création de Numidis : Grande distribution (UNO) et (UNOCITY)
- **2007** :
 - Création de MFG : Industrie du verre
 - Acquisition de BATICOMPOS : Industrie de fabrication d'éléments de construction préfabriqués
 - Création de SAMHA : Assemblage et distribution de produits électroniques et électroménagers de marque SAMSUNG Electronics en Algérie.
- **2007** Création du Groupe CEVITAL
- **2008** :
 - Création de MFG Europe : Commercialisation de verre plat en Europe
 - Création de COGETP : Engins de travaux publics VOLVO
 - Création de CEVIAGRO : Agriculture
- **2010** Création de SODI AUTOMOTIVENT
- **2011** Création de PCA - Création de Sierra CEVITAL
- D'autres projets sont en phase d'étude ou de la réalisation. Comme Sidérurgie, Aluminium, Construction automobile, Construction navale, Chimie et pétrochimie, production de peinture, Cimenteries, Energie Renouvelables...

1.2 Biographie du Fondateur

Né en **1944**, à TAGUEMOUNT-AZOUZ (wilaya de TIZI OUZOU), **M.ISSAD REBRAB** est un des premiers algériens à s'être lancé dans le monde entrepreneurial après l'indépendance. En **1968**, il a créé son cabinet d'expert-comptable. Un de ses clients lui proposa alors de prendre des parts dans sa société de construction métallurgique.

En **1971**, avec la prise de **20%** du capital d'une entreprise de construction métallique, SOTECOM, il se lança dans le monde de l'entreprise puis créa d'autres sociétés dans le secteur de la métallurgie et de la sidérurgie.

Il se lance dans des investissements importants. Il est depuis **2008**, Président du Conseil d'Administration du Groupe CEVITAL qui englobe **19** filiales réparties sur **4** pôles d'activités : agroalimentaire, automative et services, industrie et grande distribution.

ISSAD REBRAB est père de **5** enfants (une fille et quatre garçons), tous en activité au sein du staff managérial du Groupe CEVITAL.

ISSAD REBRAB est actuellement classé comme 1^{er} milliardaire en Algérie, le 8^{eme} en AFRIQUE, le 506^{eme} au niveau mondial avec un chiffre d'affaire de **3.5** milliards de dollars [11, 50].



1.3 Complexe CEVITAL FOOD

1.3.1 Présentation

Plusieurs entreprises algériennes ont dès le départ pris conscience de la nécessité de promouvoir des relations universités entreprises privilégiées.

Notre stage s'est effectué auprès de CEVITAL FOOD, ce qui nous a permis de concrétiser cet accord de collaboration. Nous allons tout au long de ce rapport présenter le groupe CEVITAL, et cerner ses différents équipements industriels [11, 15, 42].

CEVITAL FOOD est une Filiale du Groupe CEVITAL, créée en 1998, C'est une société par actions (SPA) dont les actionnaires principaux sont : Mr.REBRAB et fils, CEVITAL Agro-industrie est le leader du secteur agroalimentaire en Algérie, Implantée au sein du port de Bejaia.

CEVITAL Agro-industrie offre des produits de haute qualité à destination des consommateurs et des industriels en assurant compétitivité de ses prix, savoir-faire, modernité des unités de production, strict contrôle de la qualité, et un réseau de distribution très développé.

CEVITAL Agro-industrie exporte ses produits dans plusieurs pays, notamment en : Europe, au Maghreb, au Moyen Orient et en Afrique de l'Ouest.

CEVITAL Agro-industrie compte parmi ses clients de grandes marques mondiales d'agro-business, tel que : Coca Cola, Kraft Food, Danone,...

CEVITAL Agro-industrie est composée de plusieurs unités de production. Elle est le plus grand complexe privé en Algérie et le leader en Afrique et dans le bassin méditerranéen dans l'industrie du sucre et l'huile végétale [11, 15, 42].

1.3.2 Implantation géographique de CEVITAL FOOD

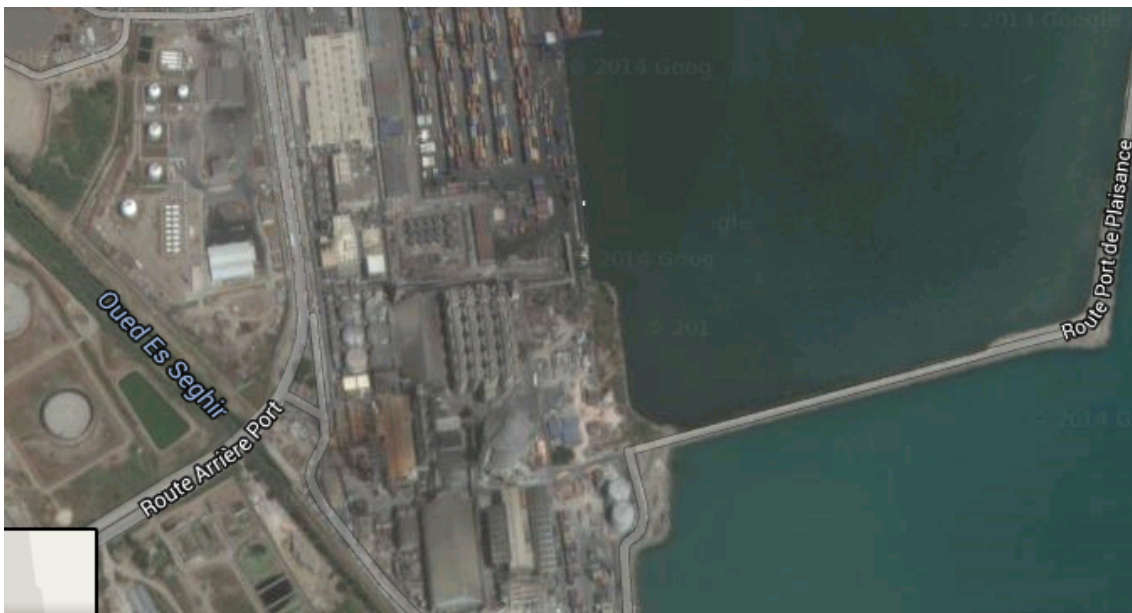


FIGURE 1.1 – L'emplacement géographique du complexe CEVITAL

La direction du complexe CEVITAL FOOD est implantée dans l'**enceinte portuaire de Bejaia** (figure 1.1) à **3 Km sud-ouest** de cette ville, et à **230 Km de l'est** d'Alger. Cette place stratégique offre à la filiale CEVITAL FOOD un grand avantage de proximité économique, puisque elle se trouve proche du **port** et de l'**aéroport**, ainsi que de la zone industrielle d'**AKBOU**. CEVITAL FOOD s'étale sur **une surface de 45000m²** pour un terrain de concession d'une durée de 30 ans avec renouvellement du contrat [15].

Dans ce cite, CEVITAL FOOD a entrepris la construction des installations suivantes [11, 15, 42] :

- Raffinerie huile
- Margarinerie
- Silos portuaires

- Raffinerie du sucre
- D'autres unités rattachées à la filiale CEVITAL FOOD sont installées :
 - **A EL KSEUR** : Une unité de production de **jus de fruits COJEK** a été rattachée par le groupe CIVITAL dans le cadre de la privatisation des entreprises publiques algériennes en novembre 2006.

Un immense plan d'investissement a été consenti visant à moderniser l'outil de production de jus de fruits COJEK dont la capacité de production est de 14400T par an. Le plan de développement de cette unité est porté à 150000T par an en 2010.

- **A TIZI OUZOU** : à **AGOUNI GUEGHRANE (OUADHIAS)** : au cœur du massif montagneux du **DJURDJURA** qui culmine une source d'eau à plus de 2300 mètres d'altitude. L'unité d'Eau Minérale **LALLA KHEDIDJA (UEMLK)** a été inaugurée en juin 2007.

1.3.3 Activités et missions :

Lancé en Mai 1998, le complexe CEVITAL a débuté son activité par le conditionnement en décembre 1998. En février 1999, les travaux du génie civil de la raffinerie ont débuté. Cette dernière est devenue fonctionnelle en Août 1999.

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production des huiles végétales et de margarine et se présentent comme suit :

- ✓ Raffinage d'huile,
- ✓ Conditionnement d'huile,
- ✓ Production de margarine,
- ✓ Fabrication d'emballage en P.E.T¹,
- ✓ Raffinerie de sucre cristallisé et sucre liquide,
- ✓ Stockage céréales,
- ✓ Minoterie en cours d'étude,
- ✓ Savonnerie en cours d'étude,
- ✓ Eau minérale et boissons,
- ✓ Traitement des déchets : Les déchets engendrés par les différentes opérations de productions et de raffinement sont traités au niveau du complexe qui compte une station d'épuration des eaux usées.

L'entreprise a pour mission principale de développer la production tout en assurant la qualité et le bon conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs,

1. Poly-Ethylène-Tétras.

et cela dans le but de satisfaire le client et de le fidéliser [11, 15, 42].

Les objectifs visés par cevital peuvent se présenter comme suit :

- ✓ L'extension de ses produits sur tout le territoire national ;
- ✓ L'implantation des graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes ;
- ✓ L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail ;
- ✓ L'encouragement des agricultures par des aides financières pour la production locale des graines oléagineuse ;
- ✓ La modernisation de ses équipements industriels et de ses mode de gestion le volume de sa production ;
- ✓ Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations.

1.3.4 Les atouts de l'entreprise CEVITAL :

Les facteurs clés de succès du complexe CEVITAL sont dus essentiellement aux facteurs suivants [11, 15, 42] :

- La capacité à manager des projets dans la production et la distribution de grandes envergures.
- La maîtrise de la technologie. En effet, les unités industrielles de CEVITAL utilisent les dernières innovations en matière d'automatisation des processus.
- La jeunesse des salariés. En effet, la moyenne d'âge du personnel est de 35 ans. Par ailleurs, l'encadrement est à fort potentiel pour assurer une gestion efficace de l'entreprise.
- Le choix du site. L'avantage de la localisation de CEVITAL est un facteur clé de succès, car il représente un avantage compétitif de taille sur le plan logistique des matières importées et des produits finis exportés.
- La force de négociation. La taille de l'entreprise due aux parts de marchés investis offre à CEVITAL une force de négociation comparativement aux entreprises évoluant dans les mêmes secteurs d'activité.
- La présence d'un réseau de distribution couvrant l'ensemble du territoire national. La satisfaction du client est le premier but de CEVITAL, Les clients de l'entreprise sont variés dont on site :
 - Représentants ;
 - Grossistes ;
 - Industriels ;
 - Institutionnels et administrations.

1.3.5 Unités de production

CEVITAL Agro-industrie est le plus grand complexe privé en Algérie et le leader en Afrique et dans le bassin méditerranéen dans l'industrie du sucre et l'huile végétale.

CEVITAL Agro-industrie dispose de plusieurs unités de production [11, 15, 42] :

- deux raffineries de sucre ;
- une unité de sucre liquide ;
- une raffinerie d'huile ;
- une margarinerie ;
- une unité de conditionnement d'eau minérale ;
- une unité de fabrication et de conditionnement de boisson rafraichissante
- et une conserverie.
- CEVITAL Agro-industrie possède également plusieurs silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2000 tonnes/heure ce qui en fait le premier terminal de déchargement portuaire en méditerranée ;

ce qu'est resumé dans le tableau(1.1) :

Unité	Capacité
Une raffinerie d'huile	670000 t/an
Une margarinerie	180000 t/an
Une raffinerie de sucre	2000000 t/an
Une unité de sucre liquide	210000t (matière sèche/an)
Une unité de conditionnement d'eau minérale Lalla Khedidja	3000000 bouteilles/jour
Une unité de productions de boissons rafraichissantes sans alcool Tchina	600000 bouteilles/heure
Une conserverie de tomates et de confiture de fruits	80 t/jour
Des silos portuaires	182000 tonnes
plastique	Production des emballages(Préforme P.E.T, Bouchons P.E.H.D, Barquettes)

TABLE 1.1 – Tableau des unités de production et leurs capacités .

1.3.6 Unités de stockage

- Huile brute 45000 Tonnes.
- Huile raffinée 2000 Tonnes.
- Huile conditionnée 1200 Tonnes, correspondant à deux jours de production de la raffinerie.
- Stock pour les pièces de rechange.

1.3.7 Matières premières et produits finis

- **Réapprovisionnement en Matière Première :**

CEVITAL s'approvisionne essentiellement en huiles brutes en fonction du marché demandeur fournisseur, les huiles les plus connues et consommées en Algérie sont l'huile de tournesol, de soja, et de colza, elles sont importées par bateau (TANKEROLE) avec des quantités de 3000T, 6000T, 9000T de certains pays grands producteurs d'huiles tel que la Malaisie, Ukraine, Moldavie ou la Chine, leurs prix d'achats sont affichés dans les marchés boursiers [11, 15, 42].

La matière première est acheminée dans des pipes du bateau vers le complexe, elle est stockée dans des bacs de 1000T et 900T.

- **Produits finis :**

- **Les huiles :**

- Les huiles table :

Fleurial est 100% tournesol, enrichie en vitamines A, D et E ; disponible en plusieurs formats : 1L, 1.8L et 4L.

- Elio et Fridor :

se sont des huiles élaborées avec des huiles 100% végétales et sans cholestérol. Existe en formats 1L, 2L et 5L.

- **Sucre :**

- Sucre blanc : Skor CEVITAL

issu du raffinage du sucre roux de canne riche en saccharose. Le sucre blanc cristallisé est commercialisé soit en vrac à usage industriel , et conditionné dans des sacs de 1Kg, 5Kg, 50Kg, et en morceaux dans des boites de 1Kg.

- Sucre liquide : pour les besoins de l'industrie agroalimentaire et plus précisément pour les producteurs des boissons sucrée et gazeuses (jus, sirop, sodas,...), confiseries, biscuits, conserves...

- **Boissons :**

- L'eau minérale Lalla Khedidja est pure par nature car elle est directement captée à la source.
- Jus Tchina : est une boisson onctueuse, riche en pulpes 100% d'Algérie; fraîchement cueillies, sélectionnées, lavées et broyées dans notre propre unité de production.

- **Conserveries :**

Les conserves Cojek sont élaborées à base de fruits et de légumes naturels d'une qualité irréprochable 100% algériennes.

- **Margarine :**

Les différentes marques de margarine disponibles sur le marché sont :

- Fleurial
- Matina
- Shortening
- Medina (Smen)
- Beurre
- Parisienne(Feuilletage)

1.3.8 Structure hiérarchique

CEVITAL est une entreprise divisée en plusieurs directions. Ce complexe agroalimentaire est dirigé par un Directeur Général qui veille sur sa sécurité et la gestion optimale de ses ressources.

Nous présentons dans ce qui suit l'organisation de l'entreprise et sa structure hiérarchique, résumée dans la figure (1.2) [15] :

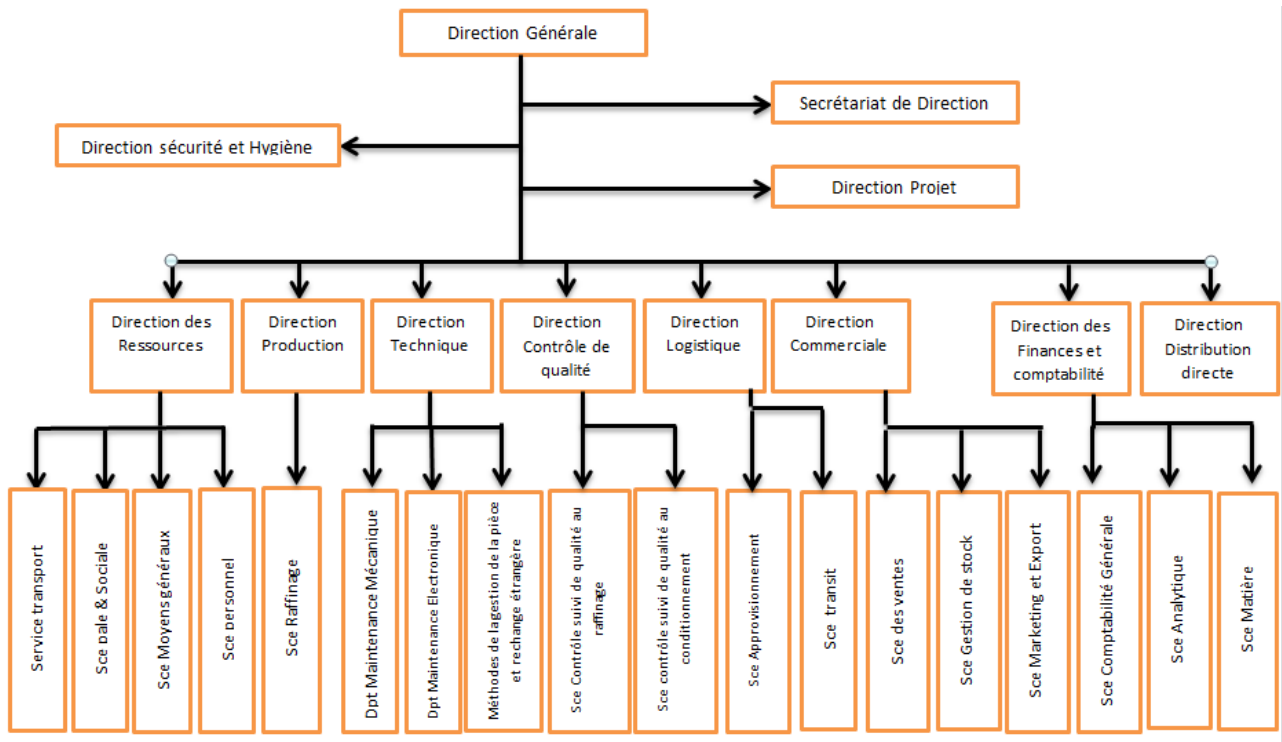


FIGURE 1.2 – Structure hiérarchique du complexe CEVITAL

1. La Direction Générale

Est présidée par un président directeur général (PDG) qui est l’actionnaire majoritaire. Elle s’occupe de l’établissement des plans stratégiques et ses décisions sur les politiques marketings à adopter en collaboration avec la direction du siège d’Alger.

Elle a également pour mission la coordination, l’orientation et la motivation des autres directions [15].

2. La Direction des Ressources Humaines

La DRH est l’un des piliers de l’organisation structurelle de CEVITAL, elle a pour mission la gestion administrative du personnel (le règlement des salaires, les dossiers de la sécurité social et les employés, les congés...), la gestion prévisionnelle (le recrutement et le suivi d’effectif, la formation du personnel...) ainsi tous les aspects sociaux et relations humaines dans l’entreprise [15].

3. La Direction Approvisionnement

- Dans le cadre de la stratégie globale d’approvisionnement et des budgets alloués (investissement et fonctionnement).

- Elle met en place les mécanismes permettant de satisfaire les besoins matière et services dans les meilleurs délais, avec la meilleure qualité et au moindre coût afin de permettre la réalisation des objectifs de production et de vente [15].

4. La Direction Logistique

- Expédie les produits finis (sucre, huile, margarine, Eau minérale, . . .), en chargeant les camions à livrer aux clients sur site et des dépôts Logistique.
- Assure et gère le transport de tous les produits finis, que ce soit en moyens propres (camions de CEVITAL), affrétés ou moyens de transport des clients.
- Gère les stocks des produits finis dans les différents dépôts locaux (Bejaia et environs) et Régionaux (Alger, Oran, Sétif, . . .) [15].

5. La Direction Technique contrôle de Qualité

Elle est dotée de quatre laboratoires :

- laboratoire de suivi d'huile,
- de margarine,
- de sucre,
- et de conditionnement.

Ces laboratoires assurent le contrôle et le suivi de la qualité des produits et tout leurs processus de production par l'élaboration des bilans chaque quart d'heure, est cela sous la supervision d'un laboratoire central qui suit la qualité microbiologique des différents produits [15].

6. La Direction Projet

Elle collabore avec la direction générale. Elle a pour mission la réalisation et le suivi des projets. Elle se charge de la réalisation de tous les travaux de construction ou d'extension, et l'installation des équipements techniques et mécaniques [15].

7. La Direction Finance et Comptabilité

Elle constitue l'organe de vision du complexe. Elle s'occupe de :

- La détermination et la distribution des budgets financiers nécessaires à chaque direction, pour le suivi de leurs patrimoines ;
- La comptabilisation quotidienne de toutes les entrées et sorties d'argent selon les pièces justificatives signalées ;

- La satisfaction des besoins aux meilleures conditions d'exactitude, de précision et le délai pour que l'entreprise prenne facilement ses précautions vis avis des tiers [15].

8. La Direction Commerciale

Elle gère tous les relations avec l'environnement de l'entreprise, elle assure la commercialisation des produits finis et le suivi de ses clients qui sont répartis principalement à travers le territoire national et quelque pays étrangères ; pour se faire, la direction a adopté la structure suivante :

- Participer à l'élaboration de la politique commerciale de l'entreprise ;
- Orienter, distribuer, développer et organiser la production des huiles ;
- Coordonner les activités de son département [15].

9. La Direction Production

Elle est dotée de trois services de raffinage :

– Raffinerie d'Huile :

Elle a pour mission de raffiner l'huile brute dans les meilleurs conditionnements, étant dotée d'une salle de contrôle informatisée qui permet ainsi des paramètres de raffinage basés sur les caractéristiques physico-chimiques des huiles.

– La Margarinerie :

Elle cherche à rationaliser l'utilisation de ses équipements de production pour obtenir une productivité optimale tout en respectant les avantages comparatifs que peut offrir les produits finis.

– Raffinerie de sucre :

Elle s'occupe de raffinage du sucre roux pour le transformer en sucre blanc prêt à être conditionné [15].

10. La Direction Conditionnement

Organiser en équipe de 3×8 , elle fonctionne 24h/24h. Sa mission est la fabrication des emballages et la mise en bouteille de l'huile raffinée [15].

11. La Direction Supply chain

Elle figure parmi les services de l'entreprise. Elle est au carrefour de toutes les autres directions. Elle consiste à mettre en œuvre une démarche de gestion global basée sur l'apport de valeur à un produit depuis la production de matières premières jusqu'à la distribution [15].

12. La Direction des ventes

Elle a en charge la commercialisation de toutes les gammes des produits, et les services tel que le transport et le développement du fichier clients de l'entreprise en usant des moyens d'action de détection ou de promotion de projets à base de hautes technologies. En relation directe avec la clientèle, cette direction possède des qualités relationnelles pour susciter l'intérêt des prospects [15].

13. La Direction système d'information

Elle assure la mise en place des moyens des technologies de l'information nécessaires pour supporter et améliorer l'activité, la stratégie et la performance de l'entreprise. Elle doit ainsi veiller à la cohérence des moyens informatiques et des moyens de communication mis à la disponibilité des utilisateurs, à leur mise à niveau, à leur maîtrise technique et à leur disponibilité et leur opérationnalité permanente en toute sécurité. Cette direction définit également, dans le cadre des plans pluri-annuels, les évolutions nécessaires en fonction des objectifs de l'entreprise et des nouvelles technologies [15].

14. La Direction Industriel

La direction industrielle est chargée de l'évolution industrielle des sites de production et elle définit avec la direction générale, les objectifs et le budget de chaque site.

Elle analyse les dysfonctionnements sur chaque site (équipements, organisation...) et elle recherche les solutions techniques ou humaines pour améliorer en permanence la productivité, la qualité des produits et les conditions de travail [15].

Elle anticipe les besoins en matériel et elle supervise leur achat (étude technique, tarif, installation,...).

Cette direction est responsable du politique environnement et sécurité et elle participe aussi aux études de faisabilité des nouveaux produits. Cette direction comprend les départements suivants [15] :

14.1. Direction corps gras

Afin de cibler ses objectifs, CEVITAL a subdivisé sa production en trois unités principales :

- **Unité Raffinage**

Le raffinage constitue une étape clé de la technologie de production des huiles et des margarines.

L'opération de raffinage sert à éliminer les composés indésirables dans les huiles brutes :

- La ligne (A) de capacité de production égale à 400 tonnes/jour.
- La ligne (B) de capacité de production égale à 400 tonnes/jour.

- La ligne (C) de capacité de production égale à 1000 tonnes/jour.

- **Unité Conditionnement**

Cinq chaînes de conditionnement sont disponibles :

- Deux pour les bouteilles de 5 litres.
- Une pour les bouteilles d'un litre (1L).
- Une pour les bouteilles de 2 litres (2L).
- Une pour les bouteilles de 3 litres (3L).

- **Unité Margarinerie**

CEVITAL s'est aussi engagé dans la production de la margarine à partir de 2001, cette unité est équipée de machines allemandes et françaises telles SCHRODER et NOVA, une capacité de production atteint les 600 tonnes/jour [15].

14.2. Direction des expéditions

La mission de ce département est d'exécuter toutes les formalités d'expéditions des produits finis et il échange des informations avec les services de : conditionnement, la consommation, et magasin.

Ce département est chargé aussi de [15] :

- L'expédition des huiles, de margarine et de sucre ;
- L'établissement des bons de livraison suivant les bons d'affectation ;
- La gestion des fichiers des consignes ;
- L'établissement des bons de congation ;
- La restitution des palette avec un bon de consignation ;
- L'achat de nouvelle palettes et intercalaire.

14.3. Direction sucre

Cette structure compte trois unités qui sont :

- Unité raffinage de sucre cristallisé : elle dispose de 3 raffineries qui ont une capacité de production : 1600 t/j, 2000 t/j, 3000 t/j srespectivement.
- Unité sucre liquide : fabrication du sucre liquide destiné à l'entreprise.
- Unité de conditionnement du sucre cristallisé [15].

14.4. Direction Boissons

Elle est spécialisée dans la production des [15] :

- Boissons jus cojek d'El-kseur.
- L'eau minérale lala Khedidja.

14.5. Direction des silos

- Elle décharge les matières premières arrivées (sucre roux, aliments de bétail) par navire au camions vers les points de stockage ;
- Elle stocke dans des conditions optimales les matières premières ;
- Elle expédie et transfère vers les différents utilisateurs ces produits ;
- Elle entretient et maintient en état de service les installations des unités silos [15].

15. Direction Qualité Hygiène Sécurité Environnement

- Met en place, maintient et améliore les différents systèmes de management et référentiels pour se conformer aux standards internationaux ;
- Veille au respect des exigences règlementaires produits, environnement et sécurité ;
- Garantit la sécurité de notre personnel et la pérennité de nos installations ;
- Contrôle, et assure la qualité de tous les produits de CEVITAL et répond aux exigences des clients [15].

Trois départements constituent cette direction :

- Management de la qualité ;
- Contrôle de la qualité ;
- Sécurité.

16. Direction Recherche et Développement

La direction Recherche et développement a été mise en place et complétée le 01 mai 2010. Elle est constituée de 13 personnes spécialisées dans [15] :

- Le développement produits (Margarines, huiles, jus, eaux minérales...).
- Le développement process (amélioration des installations, automatisation, extensions...).
- Le packaging (amélioration de l'existant, innovation...).
- La gestion des projets (encadrement et structuration des activités de la RD).

1.4 Unité margarinerie

1.4.1 Historiques de la margarine

La margarine a été développée en 1869 après que l'empereur Louis Napoléon III de France a offert un prix pour un produit de remplacement du beurre peu coûteux. La production beurrière traînait loin derrière la demande en raison d'un approvisionnement court en lait dans toute l'Europe occidentale.

Par la suite, l'histoire de la margarine se confond avec le développement des sciences et des techniques, plus particulièrement en matière de fabrication, conservation, connaissance des caractères du produit (France, 1974) [11, 15, 42, 2, 44, 7].

1.4.2 Définition de la margarine

La margarine est une émulsion, signifie qu'elle est obtenue en battant ensemble, deux liquides non miscibles; ces deux liquides sont d'une part, des huiles qui constituent la phase grasse , d'autre part, de l'eau et (ou) du lait, ou un mélange des deux, ceci représente la phase aqueuse [11, 15, 42, 2, 44, 7].

1.4.3 Composition de la margarine

Les principaux éléments constituant la margarine sont[42] :

- ✓ La blend d'huiles ;
- ✓ L'eau et/ou le lait et les protéines ;
- ✓ Les émulsifiants ;
- ✓ Colorants, conservateurs et vitamines ;
- ✓ Les hydrocolloïdes (stabilisateurs) ;
- ✓ Le sel (NACL).

1.4.4 Processus de fabrication de la margarine

Le processus de fabrication de la margarine est représenté dans les figures(1.3) et (1.4) [11, 15, 42, 2, 44, 7] :

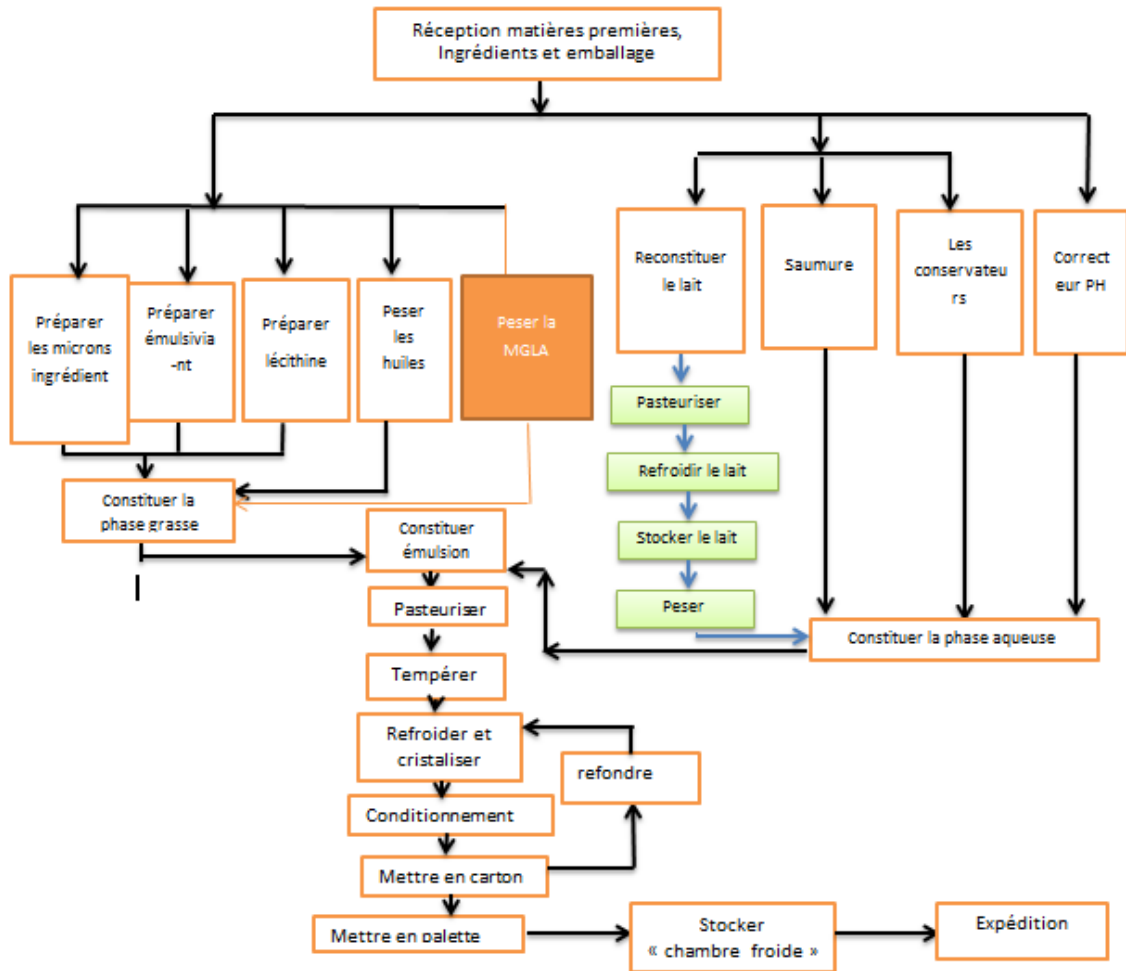


FIGURE 1.3 – Processus de fabrication de margarine

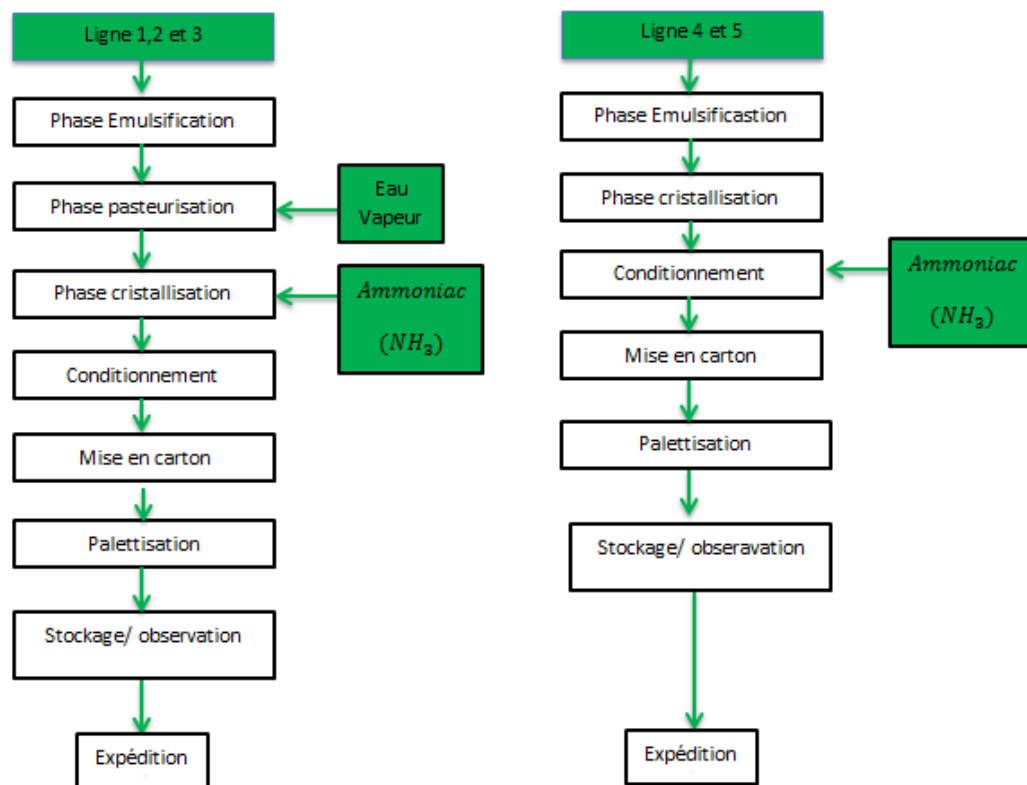


FIGURE 1.4 – Process des linges de production

1. Phase aqueuse :

Consiste à préparer un mélange d'eau, d'amidon, d'acide citrique, de conservateurs, d'antiseptiques, de sels et de lait qui est préparé indépendamment (le lait est pasteurisé puis refroidi plusieurs fois de suite pour empêcher le développement des bactéries).

2. Phase grasse :

Consiste à préparer un autre mélange composé d'huiles raffinées, d'émulsifiants, de mono glycérides, de colorants, d'arômes et de vitamines.

3. Préparation des émulsifiants :

On prépare les émulsifiants (la lécithine, monoglyciride, monoglyciride-lactique) en même temps. On fait diluer l'arôme et le colorant qui sont envoyés vers le bac de pesée d'émulsifiants.

4. Préparation de l'émulsion :

L'émulsion est le résultat de combinaison entre la phase aqueuse, la phase grasse et l'émulsifiant, ces trois quantités seront versées dans le bac d'émulsion ou elles seront bien mélangées.

A l'aide d'une pompe d'émulsion, le mélange (émulsion) passe vers le pasteurisateur à une température de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. ensuite, il passe vers le combineur sous une température de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ grâce à la pompe de haute pression.

5. Cristallisation :

Cette étape est assurée par le combineur qui est composé de deux cylindres et un cristallisateur. dans le cas où le produit est en plaquette, il passe d'abord vers le tube de repos ensuite vers le conditionnement, tandis que le produit en barquette passe directement vers le conditionnement.

6. Conditionnement :

Après cristallisation, le produit est conditionné et prendra sa forme finale.

7. Conservation :

Les margarines étant des produits alimentaires, leurs durées de vie est limitées car elles peuvent subir un certain nombre d'altérations, par un rancissement dû à l'oxydation.

Pour éviter ces altérations, à la sortie des conditionneuses, le produit est stocké dans la chambre froide à une température de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [11, 15, 42, 2, 44, 7].

1.4.5 Différents types des produits margarine

1. Selon la composition :

La margarinerie produit essentiellement 4 grandes familles de produits qui sont représentés dans le tableau(1.2) [11, 15, 42, 2, 44, 7] :

types	produits
Margarine de table	Fleurial 250g Fleurial 5Kg Fleurial 500g Matina 400g
Margarines boulangères	Feuilletage 500g Feuilletage 5Kg
Beurre	Beurre 5kg Beurre feuilletage 500g
Graisses végétales	Shortening 38/40 Shortening 38/40 <i>Hard</i> Shortening 31/33 Graisse mélange de palm tourn Graisse Palm et Coprah Graisse Palm Hydrogéné Graisse Stéarine de Palm Graisse de palm Smen 1.8Kg Smen 900g Smen 500g

TABLE 1.2 – Types des produits 'margarine'

2. Selon l'utilisation :

1. À tartiner : Comme margarine feuilletage
2. À usage industriel : Comme les graisses végétales (shortening).

3. Selon la sensibilité au froid :

1. Sensible : Des produits qui contiennent des huiles fluides qui ont un taux d'acide gras insaturé , nécessitent le froid comme : Tournosol et Soja.
2. Non sensible : Des produits qui contiennent des huiles concrètes dont le taux d'acide gras est saturé, qui sont donc dures comme : palme hydrogénée [11, 15, 42, 2, 44, 7].

La classification par sensibilité au froid des produits margarine est donnée dans le tableau(1.3) :

Produit sensible	Feuilletage 500g Fleurial 250g Fleurial 500g Fleurial 5Kg Matina 400g Beurre 5Kg
produit non sensible	Beurre Feuilletage 500g Feuilletage 5Kg Graisse mélange de Palme Tourn Graisse palm Graisse Palm et Coprah Graisse Palm Hydrogénée Graisse Stéarine de Palm Shortening 31/33 Shortening 38/40 Shortening 38/40 Hard Smen 1.8Kg Smen 500g Smen 900g

TABLE 1.3 – Classification des produits selon la sensibilité au froid

1.4.6 Présentation et structure de l'unité margarinerie

L'unité de production de margarine est l'endroit où on a eu l'honneur d'effectuer notre stage et d'assister M^r. Chibouti lui-même ingénieur et maître de stage.

La margarinerie comme on la dénomme couramment, produit plusieurs produits différents, elle est équipée de machines allemandes et françaises. La production journalière est assez conséquente et s'élève au maximum à 600tonnes/jour. Les produits qui y sont manufacturés répondent aux besoins du marché Algérien en général [11, 15, 42, 2, 44, 7].

1. Structure hiérchique :

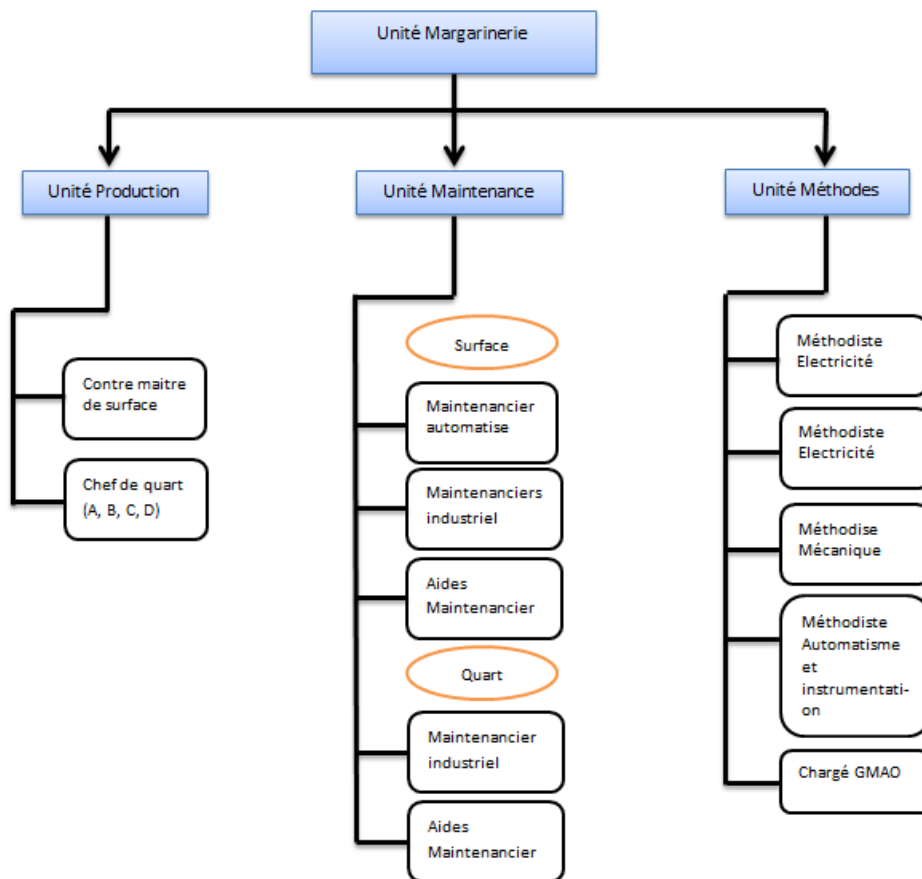


FIGURE 1.5 – Structure de la margarinerie

L'unité margarinerie structuré en deux étages [11, 15, 42, 2, 44, 7] :

1.1. Le 2^{me} étage :

La ou s'effectuent le contrôle continue de production, et la préparation des différents composants. se constitue donc d'une :

- Zone entreposage des cartons de margarine ;
- Salle convoyeur de barquettes ;
- Salle de contrôle ;
- Salle de préparation de vitamines et des colorants ;
- Salle de préparation des huiles ;
- Salle de préparation du lait.

1.2. Le 1^{er} étage :

La ou s'effectuent les tâches suivantes :

- Préparation des mélanges de composants.
- Pasteurisation, refroidissement (NH₃), cristallisation, et Conditionnement.
- Mise en cartons (par l'encartonneuse).

Elle se constitue de 5 lignes de production :

1. Linge1 : Margarine de table en barquettes
2. Linge2 : Margarine de table en plaquettes
3. Linge3 : Margarine de feuilletages
4. Linge4 : Shortening
5. Linge5 : Smen

1.3. Le rez-de-chaussée :

Se constitue d'une :

1. Salle de palettisation (paletterie) :
contient :
 - Une salle de commande ;
 - Trois palettiseurs ;
 - Des navettes ;
 - Bande rouleuse (Plastifieuse) ;
 - Des chariots élévateurs.

2. Chambre froide

2. Les équipements de l'unité margarinerie :

Au niveau de cette unité, on trouve comme moyens et matériels [11, 15, 42, 2, 44, 7] :

- Bacs destinés à la phase aqueuse
- Bacs pour la phase grasse
- Bacs d'émulsifiant
- Bacs pour l'émulsion
- Unités de pasteurisation
- Pompe ultra puissante (PH)
- Des combineurs utilisés lors de la cristallisation
- Des conditionneuses
- Des palettiseurs
- Une chambre froide

1.5 Processus de stockage et chambre froide

1.5.1 Structure et caractéristiques de la chambre froide

Elle prend la dernière phase de production. Son rôle est l'entreposage des produits et de garder la température des produits à 6°C , caractérisée par [11, 15, 42, 2, 44, 7] :

- La chambre froide est composée d'un système de rayonnage dynamique (Constructeur Allemand).
- Elle est formée de trois (3) compartiments (blocs) : **bloc (A)**, **bloc (B)**, **bloc (C)**.
- Chaque bloc contient 5 niveaux (lignes, ou étages) et 4 colonnes, ce qui nous donne 20 rayons.
- Le croisement d'une colonne et un niveau forme une cellule qui contient un système dynamique qui permet un glissement sans peine.
- Chaque cellule a une capacité de 23 à 24 palettes. Cela nous donne une capacité maximale de stockage de 1380 palettes.
- Le système de cellules nous donne une file fonctionnant suivant une politique *FIFO* (First In First Out); dont la première arrivée est la première stockée.
- Un système de climatisation étant disponible à l'intérieur de la chambre froide et assure une température variante entre 11°C et 12°C , dont le côté le plus proche de l'entrée est le moins froid.



FIGURE 1.6 – La chambre froide

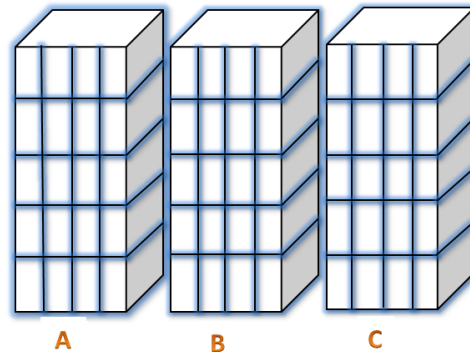


FIGURE 1.7 – Les blocs de la chambre froide



FIGURE 1.8 – Rayonnage

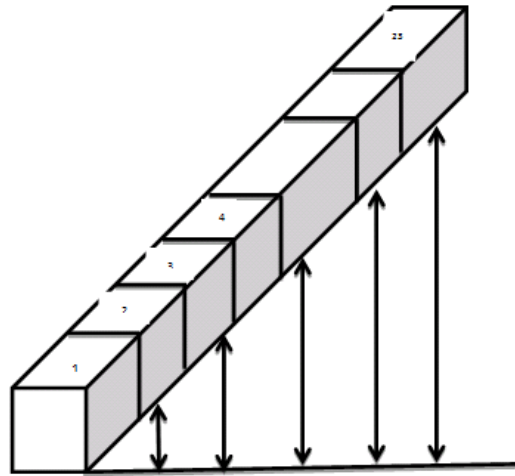


FIGURE 1.9 – Rayonnage dynamique

1.5.2 Processus de stockage

Après le passage de la phase aqueuse à la phase grasse; un produit passe au palettiseur pour former une palette conditionnée et plastifiée par la bande rouleuses et datée;

Le clariste reçoit la palette sortante de la ligne de production(paletterie) et il la transporte avec un chariot élévateur vers une cellule libre de la chambre froide en cherchant cet emplacement vide d'une manière aléatoire [11, 15, 42, 2, 44, 7].

1.5.3 Processus de commande

- Le client va faire une commande chez le service commerciale.
- Le service commercial répond à la commande avec un bon d'affectation vers le service de transport.
- Le service transport prend le bon de commande et affecte un camion avec un bon de chargement vers le service expédition.
- Le chef de quai de service expédition vérifie la disponibilité des produits et affecte un clariste de charger le camion avec un chariot élévateur.
- Le camion prend le bon de livraison établit par le chef de quai vers le service commercial.
- Le service commercial délivre une facture pour distribuer une commande vers le client [11, 15, 42, 2, 44, 7].

Le processus de commande est donné dans la figure(1.9) :

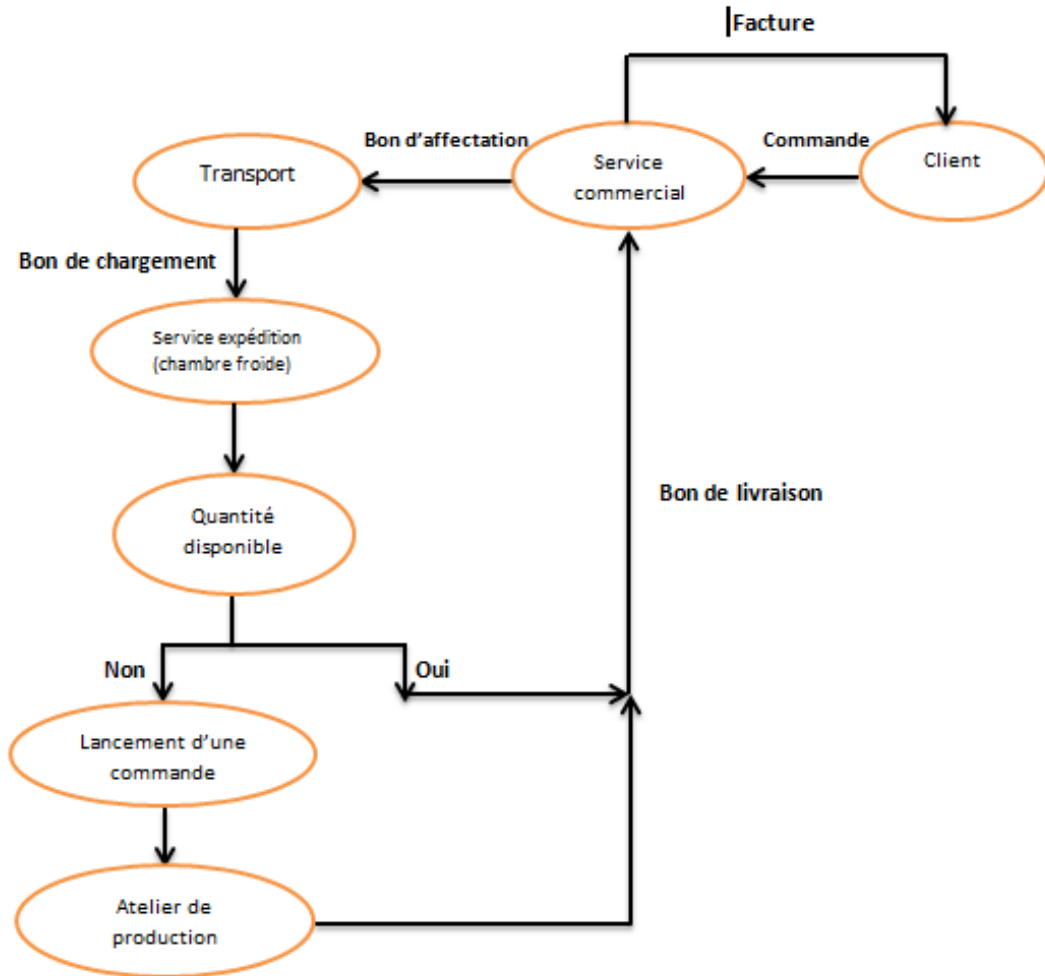


FIGURE 1.10 – Processus de commande

1.5.4 Quelques caractéristiques

1. Le mécanisme de travail

Le processus de travail dans l'unité margarinerie se réalise par trois équipes qui se répartissent en trois quarts de travail par jour : 05h-13h, 13h-21h, 21h-05h.

Au début du quart, le responsable d'expédition inspecte le stock dans la chambre froide puis il lance une commande de production qui contient les prévisions de production de cinq gammes différentes de produits. la production se fait continuellement durant le quart du travail, chaque palette qui quitte la chaîne de production termine par le chargement sur le Clark qui l'acheminera vers la chambre froide (flux d'entrée).les commandes des ventes qui arrivent au service commercial finissent par un bon de sortie, qui sera servi par le stock de la chambre froide(flux de sortie) [11, 15, 42, 2, 44, 7].

2. Les moyens de travail

• Les moyens informatiques

le service d'expédition dispose de Word, Excel, un logiciel Access et une application **G-Quart** qui permet de :

- Entregistrer et imprimer les documents (les fiches de production, fiches de sortie).
- Accéder plus rapide aux informations.
- Etablir d'un état statistique mensuel automatique.

• Les moyens humains

- Le service expédition dispose d'un responsable d'expédition des corps gras, qui gère tous les mouvements d'entrée-sortie par le **G-Quart**² ;
- Un chef de quart qui est le responsable des entrées (production) à la chambre froide se trouve à la salle de contrôle au 2^{em} étage ;
- Un chef de quai qui est responsable des sorties de la chambre froide ;
- Un technicien en informatique et une dizaine d'ouvriers.

• Les moyens matériels

Le service expédition dispose du matériel suivants :

- Des palettes : Supports de forme d'un lit carré, utilisés pour contenir les cartons des différents produits.
- Des chariots chargeurs : ils sont utilisés pour stocker ou déstocker. Ces chariots sont destinés aux prélèvements jusqu'à une hauteur voisine de 10 mètres.
- Des camions avec cellule frigorifique pour transporter ou transférer les produits expédiés par le service [11, 15, 42, 2, 44, 7].



FIGURE 1.11 – La palette

2. Application réalisée avec access dont le but l'enregistrement de tous les procédures production, vente, transfert ou stock.



FIGURE 1.12 – Camions avec cellule frigorifique

1.6 Position du problème

Durant le stage effectué au niveau de service d'expédition de CEVITAL FOOD, on a relevé quelques problèmes :

- L'état de la chambre froide et les informations sur l'emplacement des produits sont indisponibles.
- Le stockage se fait d'une manière aléatoire.
- L'augmentation des demandes sur les produits, et donc augmentation du taux de production, entraine un surstock vu la capacité limitée de la chambre (1380 palettes).
- Il arrive des fois de commander un produit qui n'est pas en position de sortie. Le personnel chargé de déstockage se trouve obligé de chercher dans toutes les cellules (rayons) et de faire sortir des palettes non voulues de la chambre froide, ce qui engendre un gaspillage de temps et abîme les produits.

Cela nous amène à poser les questions suivantes :

- Existe-il un changement dans l'évolution de production margarine au cours du temps ?
- Comment faire face au surstock engendré par l'augmentation de la production ?
- Quelle est la politique optimale à suivre pour le stockage de la margarine, de telle manière à satisfaire les contraintes suivantes :
 - La sensibilité du produit au froid : les produits sensibles à la température sont placés au fond de la chambre froide (à savoir : les blocs B et C).
 - L'homogénéité des rayons : minimum de types des produits dans chaque rayon.
 - Le respect du FIFO des dates de fabrication (déstocker, vendre les produit ayant la date de fabrication la plus ancienne)
 - La répartition, en triangle, du poids des palettes sur les blocs de stockage (3 blocs),
 - Un produit doit séjourner 24h au minimum avant son expédition.

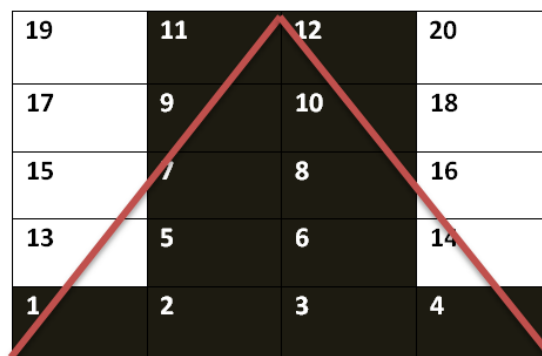


FIGURE 1.13 – Stockage en triangle

L'objectif de ce travail est de trouver un plan optimal de gestion des stocks, donnant l'emplacement des palettes et minimisant la durée de séjour d'un produit dans la chambre froide avant son expédition, de telle manière à satisfaire les contraintes cités ci-dessus.

Conclusion

Le stage qu'on a passé à la margarinerie de CEVITAL, nous a permis de comprendre toutes les étapes du process de la production jusqu'à l'expédition de la margarine et de voir l'enchaînement et le fonctionnement des différentes machines de production.

Nous allons dans un premier temps présenter dans le chapitre suivant les notions nécessaires pour notre étude. Toutes les données qu'on a pu collecter durant notre stage seront analysées dans les chapitres qui suivent.

Chapitre 2

Notions de base

Introduction

Ce chapitre est divisé en plusieurs parties qui englobe toutes les notions théoriques utilisées dans notre étude.

Dans un premier temps, nous donnons quelques notions sur les prévisions, afin d'avoir une idée sur le choix des modèles appropriés pour nos séries chronologiques et calculer ainsi les prévisions.

Dans un second temps, nous passons aux files d'attente et méthodes de simulation qu'on utilisera par la suite dans l'évaluation des performances de la margarinerie.

Nous terminons par la présentation des outils et logiciels informatiques utilisés dans notre étude.

2.1 Prévision

2.1.1 Classification des données

Lorsqu'une entreprise gère plusieurs milliers d'articles, elle ne peut accorder à chacun des articles la même priorité dans sa gestion. Une gestion des stocks est donc une gestion sélective : on ne gère pas de la même façon les fournitures de bureau et les articles destinés à la production. On note donc à ce niveau qu'il est nécessaire d'adopter une classification des produits selon deux critères [26, 5, 16] :

- Critère de destination (fournitures de bureau, production, service après-vente, ...);
- Critères de valeur (valeur cumulée des articles apparaissant dans les mouvements de stocks ou valeur en stock)

Classification ABC

Elle consiste à élaborer une classification des articles en fonction de leurs contributions aux résultats de l'entreprise et cela en suivant la proportion représentée dans la valeur totale de la consommation

des stocks. Les stocks sont répartis en trois classes [26, 5, 16] :

- **Classe A** : les 20% des articles consommés qui représentent environ 80% de la valeur totale du stock consommé ;
- **Classe B** : les 65% des articles suivants qui représentent environ 15% de la valeur totale du stock consommé ;
- **Classe C** : les 15% des articles restants qui représentent environ 5% de la valeur totale du stock consommé.

L'analyse ABC qui aboutit à un découplage des classes A, B et C pousse cependant à des conclusions différentes suivant la destination des articles pour lesquels l'étude est faite [26, 5, 16].

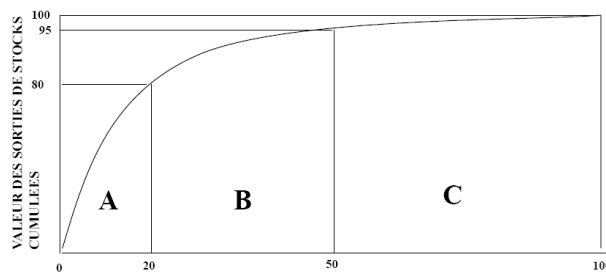


FIGURE 2.1 – La classification ABC

2.1.2 Introduction aux prévisions

La prévision aide à élaborer des plans de production et de distribution (prévision à court terme), et peut être d'une grande utilité dans la planification de l'acquisition de ressources humaines, financières ou matérielles (long terme).

La prévision d'une série consiste à déterminer son évolution sur les périodes non observées, afin de réduire l'incertitude liée à la connaissance du future, organiser l'avenir et ainsi prendre des décisions précises [19].

1.1.1.1. Processus de prévision

- Etablir le but des prévisions.
- Définir l'horizon de prévision.
- Recueillir les données pertinentes.
- Modélisation : Choisir une technique (modèle) de prévision.
- Etablir les prévisions.
- Validation : Calculer les pourcentages d'erreur en se basant sur les données disponibles.
- Procéder à l'implantation et suivre l'évolution des prévisions [18].

1.1.1.2. Objectif de la prévision

La prévision consiste à évaluer les valeurs futures Y_{T+h} , $h \geq 1$ (h est appelé l'horizon) en se basant exclusivement (uniquement) sur le passé y_1, y_2, \dots, y_{T-1} et le présent y_T [18].

1.1.1.3. La qualité de prévision

La qualité des prévisions dépend de [18] :

- la méthode de prélèvement de l'échantillon (l'échantillon est prélevé au hasard ou par d'autres méthodes aléatoires) ; La prévision incertaine sera aléatoire, c'est-à-dire que les différentes valeurs prévisibles seront assorties de probabilités.
- L'information statistique connue dans la population d'où est extrait l'échantillon.
- La façon dont évolue la série, plus la série est régulière dans le temps, plus il sera facile de faire de la prévision.
- L'horizon noté h : la prévision est meilleure lorsque h est petit.

2.1.3 Mesure des erreurs de prévision

Il est rare que l'on réussisse à avoir des prévisions exactes. L'erreur de prévision est la différence entre la donnée prévue et la donnée réelle.

Quatre mesures de la qualité des prévision peuvent être utilisées [18] :

- MAD (Mean Absolute Deviation)-déviation absolue moyenne :

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |D_t - P_t|}{n}$$

- MSE (Mean Square Error)-Moyenne du carré des erreurs :

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (D_t - P_t)^2}{n}$$

- MFE (Mean Forecast Error)-Erreur de prévision moyenne :

$$MFE = \frac{\sum_{t=1}^n (D_t - P_t)}{n}$$

- MAPE (Mean Absolute Percentage Error)-Pourcentage d'erreur absolue moyen :

$$MAPE = \left(\frac{100}{n}\right) \sum_{t=1}^n \left| \frac{D_t - P_t}{D_t} \right|$$

Avec : D_t : Donnée réelle à la période t , P_t : Prévision à la période t , n : Nombre de périodes utilisées.

2.1.4 Généralités sur les séries chronologiques

La théorie des séries chronologiques (ou temporelle) est appliquée de nos jours dans des domaines aussi variés que l'économétrie, la médecine ou la démographie, pour n'en citer qu'une petite partie. On s'intéresse à l'évolution au cours du temps d'un phénomène, dans le but de décrire, expliquer puis prévoir ce phénomène dans le futur. On dispose ainsi d'observations à des dates différentes, c'est-à-dire d'une suite de valeurs numériques indicées par le temps [18].

1.1.2.1. Processus stochastique (aléatoire)

Un processus stochastique ¹ est une famille paramétrique de variables aléatoires $\{Y_t = Y(t); t \in T\}$ dont l'argument t est le temps ou :

- La variable Y_t représente l'état du processus au temps t et l'ensemble de toutes les valeurs possibles pour cette variable est appelée l'espace des états du processus.
- Si $T = \mathbb{N}$, alors Y_t est dit à temps discret, on le note Y_n .
- Si $T = [0, \infty]$, le processus dit à temps continue ou permanent [43].

1. Le terme stochastique est d'origine grecque et signifie qu'il appartient à la chance, au hasard, l'aléatoire.

Définition 2.1. *Les séries chronologiques appelées encore temporelles ou chroniques, sont des suites d'observations ordonnées dans le temps. Ces séries peuvent représenter des historiques de ventes, de produits ou encore d'une façon plus générale des informations temporelles à caractères périodiques et répétitifs [16].*

Définition 2.2. *On appelle série chronologiques $\{y_t; t \in T\}$ une réalisation d'un processus stochastique $\{Y_t; t \in \mathbb{Z}\}$, cette réalisation est considérée comme une observation du processus constitué par une suite de mesures effectuées dans des conditions identique. Il ya deux types des séries chronologiques [29] :*

1. Série continue :

C'est des séries ou l'observation se fait de manière continue comme l'enregistrement du rythme cardiaque d'un patient, etc.

2. Série discrète :

D'autres séries correspondent à des observations réalistes sur des intervalles de temps fixés a priori, l'heur, le jour, le mois, l'année,..., de telles suites de données sont dites discrètes, notées $\{y_t; t = 1, \dots, T\}$ ou T est la longueur de la série.[29]

1.1.2.2. Représentation graphique d'une série

L'analyse d'une série chronologique débute toujours par sa représentation graphique donc il est souvent très utile de représenter la série sur un graphe qui prend le temps t en abscisse et la valeur de l'observation à chaque instant t en ordonné, et en reliant les points des couples (t , observation($y(t)$)) avec des segments de droite, on obtient un graphe lisible [10].

1.1.2.3. Les composantes d'une série chronologique

La représentation graphique d'une série chronologique $\{y_t; t = 1, \dots, T\}$, ou T est la longueur de la série, étudié sur une longue période de temps, permet de dégager un certain nombre de composantes fondamentales de l'évolution de la série. On considère alors que la série est une résultante de plusieurs composantes, il faut les analyser en les dissociant les unes des autres comme suit [30, 19, 27, 22, 45] :

1. La tendance :

Elle correspond à un mouvement conjoncturel non saisonnier qui traduit l'évolution à long terme de la variable mesurée. Elle est souvent l'élément le plus important d'une série chronologique. Elle peut être linéaire ; avec une augmentation constante à chaque période, exponentielle (série géométrique) ou polynômiale [19].

2. La Saisonnalité :

On appelle variations saisonnières des fluctuations périodiques qui se produisent régulièrement tous les mois, trimestres, années ou toute période p .

La période notée p des variations saisonnières est la longueur exprimée en unités de temps séparant deux variations saisonnières dues à un même phénomène [19].

3. **La composante irrégulière (résiduelle) :** La composante aléatoire dite aussi résiduelle, est une suite de petits mouvements qui ne suivent aucun pattern reconnaissable, Elle regroupe tout ce qui n'est pas pris en charge par la composante saisonnière et tendancielle. Ces aléas ou perturbations sont causés par les mouvements imprévisibles ou qui ne se répètent pas dans le temps, par exemple les grèves, les guerres,... [19].

2.1.5 Processus bruit blanc

Dans la terminologie des séries chronologiques, une suite de variables aléatoires de même loi, mutuellement indépendantes de moyenne nulle et de variance finie, est appelée processus bruit blanc² (White Noise Process) [28].

Un processus Bruit Blanc est une suite de variables aléatoires (ε_t) de même loi, de même variance finie, de même moyenne ($\mu = 0$) et mutuellement indépendantes [43] c'est-à-dire :

1. $E[\varepsilon_t] = 0, \forall t \in \mathbb{Z}$,
2. $Var(\varepsilon_t) = E[\varepsilon_t^2] = \sigma^2, \forall t \in \mathbb{Z}$,
3. $E[\varepsilon_t, \varepsilon_k] = 0, \forall t \neq k$.

2.1.6 Principe de stationnarité

Définition 2.3. *La notion de série stationnaire est indispensable pour l'analyse des séries temporelles. Une série chronologique est stationnaire si elle est la réalisation d'un processus stationnaire. Ceci implique que la série ne possède ni tendance ni saisonnalité et plus généralement aucun facteur n'évolue avec le temps.*

Un processus $\{y_t; t \in T\}$ est dite stationnaire si les moments du premier ordre et du second ordre sont invariant par translation du temps, c'est-à-dire que [29] :

1. $E(y_t) = \mu < \infty, \forall t \in \mathbb{T}$;
2. $E(y_t^2) < \infty, \forall t \in \mathbb{T} \Rightarrow Var(y_t) = \sigma^2 < \infty, \forall t \in \mathbb{T}$;

2. la dénomination bruit vient du fait qu'il ne contient aucune information, l'information étant représentée par l'auto-corrélation.

3. L'adjectif blanc vient de l'analogie avec la lumière blanche pour laquelle le spectre est constant pour toute fréquence, ce qui est le cas d'un bruit blanc pour lequel la densité spectrale est égale à $f_\varepsilon(\lambda) = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{2\pi}$ pour toute fréquence λ .

$$3. Cov(y_t, y_{t-k}) = E[(y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu)] = \gamma_k, \forall t \in \mathbb{T}, \forall k \in \mathbb{T}.$$

Dans cette définition, la priorité (1) exprime la stationnarité en moyenne de la suite, (2) assure que la variance de chaque variable reste finie, et (3) précise ce qu'on entend par « invariance de la structure de variance ».

1.1.4.1. Filtration des séries

La méthode de Box et Jenkins n'est applicable que si la série est stationnaire, pour cela Box et Jenkins ont postulé qu'il est possible de stationnariser une série en appliquant un filtre de type « différence » noté ∇ pour éliminer la tendance, et un filtre « différence saisonnier » noté ∇_s pour éliminer la saisonnalité [25].

1. Operateur retard B :

L'opérateur retard noté B décale le processus d'une unité de temps vers le passé :

$$B(y_t) = y_{t-1}. \tag{2.1}$$

Si on applique d fois cet operateur, on décale le processus de d unités de temps :

$$\underbrace{B(B(\dots B(y_t)\dots))}_{d \text{ fois}} = B^d(y_t) = y_{t-d}. \tag{2.2}$$

2. Operateur difference ∇ :

L'operateur ∇ fait la différence entre le processus et sa version décalée d'une unité de temps. Cet operateur se construit en utilisant l'operateur précédent [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\begin{aligned} \nabla(y_t) &= y_t - y_{t-1}; \\ &= y_t - B(y_t); \\ &= (1 - B)y_t. \end{aligned} \tag{2.3}$$

3. Elimination de la tendance :

L'operateur précédent sert à éliminer la tendance linéaire d'une série $(y_t, t \in \mathbb{Z})$, telle que :

$$\nabla(y_t) = y_t - y_{t-1}. \tag{2.4}$$

Si cette première différence ne suffit pas, on doit appliquer le filtre différence d'ordre 2 (∇^2) (cas d'une tendance quadratique) [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\begin{aligned} \nabla^2(y_t) &= \nabla(y_t) - \nabla(y_{t-1}); \\ &= (1 - B)^2 y_t. \end{aligned} \tag{2.5}$$

4. Elimination de la saisonnalité :

La présence d'un facteur saisonnier de période s est une cause importante de la non stationnarité de la série. Pour éliminer ce facteur, on se ramène à appliquer un filtre saisonnier ∇_s d'ordre s tel que [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\begin{aligned}\nabla^s(y_t) &= y_t - y_{t-s}; \\ &= (1 - B)^s y_t.\end{aligned}\tag{2.6}$$

2.1.7 Fonction d'autocovariance

L'autocovariance⁴ d'un processus stochastique est la covariance de ce processus avec une version décalée dans le temps de ce même processus [30].

Définition 2.4. Soit $(y_t, t \in \mathbb{Z})$ un processus stochastique, on appelle fonctions d'autocovariance de $(y_t, t \in \mathbb{T})$ la fonction γ suivante :

$$\begin{cases} \forall k \in \mathbb{T}, \gamma(k) = Cov(y_t, y_{t-k}) = E[(y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu)]; \\ \gamma(0) = Var(y_t) > 0. \end{cases}$$

Propriétés 2.1. La fonctions d'autocovariance vérifie les propriétés suivantes [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

1. $Var(y_t) \geq 0$.
2. $|\gamma(k)| < \gamma(0)$.
3. γ est une fonction symétrique : $\gamma(-k) = \gamma(k), \forall k \in \mathbb{N}$.

2.1.8 Fonction d'autocorrélation

Soit $(y_t, t \in \mathbb{T})$ une série stationnaire. On définit la fonction d'autocorrélation de (y_t) par [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\begin{aligned}\rho_k &= \frac{\gamma_k}{\gamma_0}; \\ &= \frac{Cov(y_t, y_{t-k})}{Var(y_t)}.\end{aligned}\tag{2.7}$$

ρ_k mesure le lien entre les valeurs du processus à deux dates distantes (mesure le degré de dépendance à la date t par rapport à ce qui s'est passé à la date $t-k$) [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25].

Propriétés 2.2. La fonction d'autocorrélation vérifie trois propriétés [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

4. Le graphe de cette fonction est appelé variogramme.

1. $\forall k \in \mathbb{T}, \rho_{-k} = \rho_k.$
2. $\rho_0 = 1.$
3. $|\rho_k| \leq 1, \forall k \in \mathbb{T}.$

γ_k et ρ_k peuvent être estimés par [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\begin{cases} \hat{\rho} = r_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0}; \\ \hat{\gamma}_k = \frac{1}{n} \sum_{t=k+1}^n (y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu); \\ \hat{\gamma}_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=k+1}^n (y_t - \mu)^2. \end{cases}$$

Remarque 2.1. La représentation graphique de la fonction d'autocorrélation en fonction de k est appelée *corrélogramme*.

Remarque 2.2. Dire que la variable ε_t constitue un bruit blanc alors [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\begin{cases} \rho_0 = \text{Corr}(\varepsilon_t, \varepsilon_t) = 1, \\ \rho_k = \text{Corr}(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = 0, k = 1, 2, \dots \end{cases}$$

2.1.9 Fonction d'autocorrélation partielle

On appelle autocorrélation partielle d'ordre k , le coefficient de corrélation entre y_t et y_{t-k} en éliminant l'influence de $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-(k-1)}$. On la note par [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

$$\Pi_k = \frac{\text{Cov}(y_t - y_t^*, y_{t-k} - y_{t-k}^*)}{\text{Var}(y_t, y_t^*)}. \tag{2.8}$$

Où y_t^* et y_{t-k}^* sont les variables aléatoires obtenus par régression linéaire sur $y_{t-1}, \dots, y_{t-(k-1)}$ c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} y_t^* &= \sum_{i=1}^{k-1} \alpha_i y_{t-i} \\ y_{t-k}^* &= \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i y_{t-i} \end{aligned}$$

Avec α_i et β_i sont les coefficients de régression.

2.1.10 Modélisation et prévision

La modélisation est une représentation d'une série chronologique par un modèle qui décrit son évolution dans le temps. Plusieurs méthodes de modélisation ont été établit, citons en particulier, les méthodes du lissage exponentiel et la méthode de Box et Jenkins. La prévision d'une série consiste à déterminer son évolution sur les périodes non observées. On distingue généralement trois types de prévisions [18] :

- La prévision à court terme : Elle a un horizon de 6 à 18 mois.
- La prévision à moyen terme : Elle a un horizon de 2 à 5 ans.
- La prévision à long terme : Elle a un horizon de 6 à 20 ans.

1.1.8.1. Modélisation d'une série chronologique

Il s'agit de trouver des modèles décrivant la façon dont laquelle la série évolue. On distingue trois types de modèles [21, 20, 18, 43, 22, 30, 19, 25] :

1. Les modèles d'ajustement

a. Modèle additif et multiplicatif

Ce sont des modèles, qui permettent de combiner les différentes composantes d'une série, la représentation mathématique du principe de décomposition est : $y_t = f(a_t, s_t, \varepsilon_t)$

Avec a_t : tendance, c'est une fonction déterministe à variation lente (droite, polynôme),

s_t : saisonnalité, c'est une fonction périodique de période p ,

ε_t : partie irrégulière appelée résidu, c'est une variable aléatoire centrée ($E(\varepsilon_t) = 0$).

t désigne le temps, $t = 1, 2, 3, \dots, T$. on distingue deux modèle d'ajustement qui sont [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

• Le modèle additif

Dans un modèle additif, on suppose que les 3 composantes : tendance, variations saisonnières, variations accidentelles, sont indépendantes les unes des autres. On considère que la série y_t s'écrit comme somme de ces trois composantes [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$y_t = a_t + s_t + \varepsilon_t. \quad (2.9)$$

• Le modèle multiplicatif

On suppose que les variations saisonnières et les variations accidentelles dépendent de la tendance. On a alors [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$y_t = a_t \times s_t \times \varepsilon_t. \quad (2.10)$$

b. Modèle de régression

Ici la modélisation permet de déterminer les prévisions à court terme, le modèle s'écrit [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$y_t = g(t, \theta) + \varepsilon_t. \quad (2.11)$$

Où $g(t, \theta)$ est une fonction déterministe connue en fonction du temps à travers le paramètre vectoriel :

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

2. Modèles d'Autoprojectifs

On suppose dans ce type de modèle que la série chronologique (y_t) s'écrit en fonction de ses valeurs passées et d'une perturbation aléatoire [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) + \varepsilon_t. \quad (2.12)$$

Parmi Les méthodes mises en évidence, on trouve les modèles de lissage exponentiel et les modèles de Box et jenkins en (particulier les modèles ARMA) [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

3. Modèles explicatifs

Ce sont des modèles dans lesquels la variable y_t est exprimée en fonction d'un vecteur de variables aléatoires observées x_t dites exogènes et d'une perturbation aléatoire, le modèle s'écrit :

$$y_t = f(x_t) + \varepsilon_t. \quad (2.13)$$

y_t peut être déterministe ou aléatoire, il existe deux types des Modèles explicatifs :

a. Modèle explicatif statique

Dont les variables x_t ne contiennent pas des valeurs passées de y_t et les ε_t sont indépendantes entre elles [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

b. Modèle explicatif dynamique

Ce modèle peut être dynamique soit car les t sont autocorrélées(dépendantes), soit car les x_t contiennent des valeurs passées de y_t [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

2.1.11 Description des modèles de prévision

1.1.9.1. Méthode de lissage exponentiel

On regroupe sous le nom de lissage exponentiel un ensemble de méthodes qui ont pour caractéristique de donner un poids important aux valeurs récentes de la série c'est un modèle Autoprojectif [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

1. Lissage exponentiel simple (L.E.S) (Brown)

Cette méthode de lissage due à Brown (1960) s'adapte aux cas où la série peut-être ajuster à une droite originale au voisinage de T ; c'est-à-dire que la série ne présente ni tendance ni saisonnalité [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

Soit Y_1, Y_2, \dots, Y_T la série chronologique, le modèle s'écrit :

$$y_t = a_t + \varepsilon_t. \quad (2.14)$$

où :

a_t : Le niveau de la série.

ε_t : La composante irrégulière.

a_t : est estimé en minimisant la formule suivante :

$$\min_a \sum_{j=0}^{T-1} \alpha^j (y_{T-j} - a)^2. \quad (2.15)$$

La prévision de la série à l'horizon h , $\hat{y}_T(h)$ fournie par la méthode de lissage exponentielle simple est donnée par :

$$\begin{aligned} \hat{y}_T(h) &= (1 - \alpha) \sum_{j=0}^{T-1} \alpha^j y_{T-j}; \\ &= \alpha \hat{y}_{T-1}(h) = (1 - \alpha) y_T \end{aligned} \quad (2.16)$$

$\hat{y}_T(h)$ est une moyenne des observations passées où le poids de chaque observation décroît de façon exponentielle avec le temps.

2. Lissage exponentiel Double (Brown)

C'est une généralisation de L.E.S, utilisé quand la série chronologique présente une tendance.

Le modèle s'écrit au voisinage de T comme suit [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$Y_t = a_0 + (t - T)a_1 + \varepsilon_t. \quad (2.17)$$

La prévision à l'horizon h est donnée par :

$$\hat{y}_T(h) = \hat{a}_0(T) + \hat{a}_1(T)h. \quad (2.18)$$

$\hat{a}_0(T)$ et $\hat{a}_1(T)$ sont déterminées en minimisant l'erreur :

$$Q(a_0, a_1) = \sum_{j=0}^{T-1} \alpha^j (Y_{T-j} - a_0(T) - a_1(T)j)^2. \quad (2.19)$$

On obtient un système à deux équations et à deux inconnus a_0 et a_1 :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = \lambda Y_T + [\hat{a}_0(T-1) + \hat{a}_1(T-1)]; \\ \hat{a}_1(T) = \mu [\hat{a}_0(T) - \hat{a}_0(T-1)] + (1 - \mu) \hat{a}_1(T-1). \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} \lambda = 1 - (1 - \alpha)^2; \\ \mu = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)}. \end{cases}$$

Et en prenant comme valeurs initiales :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(2) = Y_2; \\ \hat{a}_1(2) = Y_2 - Y_1. \end{cases}$$

Le choix des paramètres de lissage se ramène à trouver α pour déterminer λ et μ ; ainsi ce dernier est déterminé en minimisant la somme des carrés de l'erreur :

$$\begin{aligned}\varphi(\alpha) &= \sum_{t=1}^{T-h} (Y_{t+h} - \hat{Y}_t(h))^2; \\ &= \sum_{t=1}^{T-h} (Y_{t+h} - (1 - \alpha) \sum_{j=0}^{T-1} \alpha^j Y_{t-j})^2.\end{aligned}\quad (2.20)$$

3. Lissage exponentiel de Holt

Le lissage exponentiel de Holt (1963) avec tendance et sans saisonnalité, est fondée comme la méthode de BROWN sur l'hypothèse d'ajustement par une droite d'équation [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$Y_T = a_0 + (t - T)a_1 + \varepsilon_t.$$

La fonction prévision à l'horizon h est :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = \lambda Y_T + (1 - \lambda)[\hat{a}_0(T - 1) + \hat{a}_1(T - 1)]; \\ \hat{a}_1(T) = \mu[\hat{a}_0(T) - \hat{a}_0(T - 1)] + (1 - \mu)\hat{a}_1(T - 1).\end{cases}$$

On abandonne toutefois la relation entre λ et μ . Par l'intermédiaire α , on prend alors $\alpha = \lambda$ et μ devient un paramètre libre.

Avec : $\alpha \in [0, 1]$, $\lambda \in [0, 1]$, $\mu \in [0, 1]$.

4. Lissage exponentiel de Holt-Winters

Cette méthode est une généralisation de la méthode de Holt dont la série présente un terme tendance et saisonnalité à la fois, elle opère le lissage simultané de 3 termes correspondants respectivement à des estimations locales de [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

Niveau de la série désaisonnalisée a_0 ; La pente de la tendance a_1 ; Et la saisonnalité S_t .

Holt et Winters proposent deux modèles d'ajustement pour un horizon h , dont l'un pour les séries admettant une décomposition multiplicative et l'autre additive [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

a. Modèle Additif

On suppose que au voisinage de T le modèle s'écrit [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$Y_t = a_0 + (t - T)a_1 + S_t + \varepsilon_t.\quad (2.21)$$

Sa prévision est comme suit :

$$\hat{Y}_T(h) = \hat{a}_0(T) + h\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+h}.\quad (2.22)$$

Les formules de mise à jour sont :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = \lambda(Y_T - S_{T-s}) + (1 - \lambda)[\hat{a}_0(T - 1) + \hat{a}_1(T - 1)]; \\ \hat{a}_1(T) = \mu[\hat{a}_0(T) - \hat{a}_0(T - 1)] + (1 - \mu)\hat{a}_1(T - 1); \\ \hat{S}_T = \gamma[Y_T - \hat{a}_0(T)] + (1 - \gamma)\hat{S}_{T-s}. \end{cases}$$

s : étant la période de saisonnalité ; s=12 (mensuelle), s=4 (trimestrielle),...

On choisit les paramètres de lissage λ , μ et γ qui minimisent :

$$Q(\lambda, \mu, \gamma) = \sum_{t=2}^T (Y_t - \hat{Y}_{t-1})^2. \tag{2.23}$$

Pour l'initialisation on prend :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(1) = 0; \\ S_t = Y_t - \hat{a}_0(t), t = 1, \dots, s. \end{cases}$$

b. Modèle Multiplicatif

Au voisinage de T le modèle s'écrit :

$$Y_t = [a_0 + (t - T)a_1]S_t \times \varepsilon_t. \tag{2.24}$$

La prévision à l'horizon h , est de la forme [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$\hat{Y}_T(h) = [a_0 + ha_1(T)]\hat{S}_{T+h}. \tag{2.25}$$

\hat{a}_t , \hat{a}_1 et \hat{S}_T estimés par :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = \lambda\left(\frac{Y_T}{\hat{S}_{T-s}}\right) + (1 - \lambda)[\hat{a}_0(T - 1) + \hat{a}_1(T - 1)]; \\ \hat{a}_1(T) = \mu[\hat{a}_0(T) - \hat{a}_0(T - 1)] + (1 - \mu)\hat{a}_1(T - 1); \\ \hat{S}_T = \gamma\frac{y_T}{\hat{a}_0} + (1 - \gamma)\hat{S}_{T-s}. \end{cases}$$

1.1.9.2. Méthode de Box et Jenkins

1. Modèles stationnaires

a. Modèle autorégressif (AutoRegressives)(AR)

Un processus est dit autorégressif quand la valeur de la variable aléatoire y à un instant de temps donné, est une combinaison linéaire des p valeurs antérieures de cette même variable aléatoire⁵. On dit alors qu'on a un processus autorégressif d'ordre p et on le note $AR(p)$,

5. Par exemple, un ordre autorégressif de 2 indique que la valeur de la série Deux points dans le temps dans le passé sera utilisée pour prévoir la valeur en cours.

où p désigne le plus grand retard utilisé dans l'autorégression [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

(a) **Modèle autorégressif d'ordre 1 AR(1)**

C'est le processus où la variable aléatoire est définie par une formule de régression en fonction de son propre passé :

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + \varepsilon. \quad (2.26)$$

Où, ε est un bruit blanc, $\varepsilon \sim N(\sigma^2, 0)$. La condition de stationnarité du processus AR(1) : $-1 < \phi < 1$.

Le processus AR(1) est inversible.

Propriétés 2.3. *Ce processus admet comme propriétés [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :*

- i. $E(y_t) = 0$.
- ii. $Var(y_t) = \frac{\sigma^2}{1-\phi^2}$.
- iii. $\gamma_K = \phi \gamma_{k-1}, \forall k \in T$.
- iv. *la fonction d'autocorrélation partielle :*

$$\Pi_k = \begin{cases} \phi & \text{si } k = 1, \\ 0 & \text{si } k > 1. \end{cases}$$

- v. *la fonction d'autocorrélation diminue de manière exponentielle :*

$$\rho_k = \begin{cases} 1 & \text{si } k = 0, \\ \phi^k & \text{si } k > 0. \end{cases}$$

(b) **Modèle autorégressif d'ordre p AR(p)**

C'est un processus à plusieurs variables du passé, le modèle s'écrit [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$\varepsilon_t = Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \phi_2 Y_{t-2} - \dots - \phi_p Y_{t-p}. \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= (1 - \phi_1 B + \phi_2 B^2 + \dots + \phi_p B^p) Y_t; \\ &= \Phi(B) Y_t. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Où $\Phi(B)$ est le polynôme autorégressif de degré p . Le processus AR(p) est stationnarité si les racines b_i du polynôme $\Phi(B) : |b_i| > 1$.

b. Modèle moyenne mobile (Moving Average)(MA)

Les ordres de moyenne mobile indiquent comment les écarts de la moyenne de la série pour

les valeurs précédentes sont utilisés pour prévoir les valeurs courantes [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25].

- i. **Processus moyenne mobile d'ordre 1 MA(1)** Une série $(y_t, t \in T)$ suit un processus moyenne mobile d'ordre 1, si elle est générée par un bruit blanc $(\varepsilon_t, t \in T)$, sous la forme [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$\begin{aligned} Y_t &= \varepsilon_t - \theta\varepsilon_{t-1}; \\ &= (1 - B)\varepsilon_t. \end{aligned} \tag{2.29}$$

Propriétés 2.4. *Le processus MA(1) est :*

- i. *Toujours stationnaire.*
- ii. *La condition d'invisibilité : $|\theta| < 1$*
- iii. *$E(y_t) = E(\varepsilon_t - \theta\varepsilon_{t-1}) = E(\varepsilon_t) = 0$.*
- iv. *$Var(y_t) = \sigma^2(1 + \theta^2)$.*
- v. *L'autocovariance :*

$$\gamma(k) = \begin{cases} \sigma^2(1 + \theta^2) & \text{si } k = 0, \\ -\theta\sigma^2 & \text{si } k = 1, \\ 0 & \text{si } k > 1. \end{cases}$$

- vi. *L'autocorrélation :*

$$\rho(k) = \begin{cases} 1 & \text{si } k = 0, \\ \frac{-\theta}{1+\theta^2} & \text{si } k = 1, \\ 0 & \text{si } k \geq 2. \end{cases}$$

- ii. **Processus moyenne mobile d'ordre q MA(q)**

On appelle processus MA(q), le processus stationnaire qui utilise plus d'une erreur passée, le modèle s'écrit [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$\begin{aligned} Y_t &= \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q\varepsilon_{t-q}; \\ &= (1 - \theta_1B - \theta_2B^2 - \dots - \theta_qB^q)\varepsilon_t; \\ &= \Theta(B)\varepsilon_t. \end{aligned} \tag{2.30}$$

Où $\Theta(B)$, appelé polynôme moyenne mobile.

Propriétés 2.5. *Le processus MA(q) est [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :*

i. Toujours stationnaire.

ii. La condition d'invisibilité : $|b_i| > 1$, b_i sont les racines du polynôme $\Theta(B)$.

iii. La FAC est dite tronquée au delà de q , ça veut dire que $\rho_k = 0$, pour $k > q$.

c. Modèle mixte (autorégressif-Moyenne mobile)(ARMA)

Des processus utilisant plus d'une variable du passé ou plus d'une innovation, sont appelés ARMA(p,q) et s'écrivent sous la forme [21, 20, 18, 43, 30, 19, 25] :

$$Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \dots - \phi_p Y_{t-p} = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}. \quad (2.31)$$

Ou encore :

$$\Phi(B)y_t = \Theta(B)\varepsilon_t.$$

Ou :

ε_t : Bruit blanc.

$\Phi(B)$: Polynôme autorégressif d'ordre p.

$\Theta(B)$: Polynôme moyenne mobile d'ordre q.

Un processus AR(p) est un ARMA(p, 0), et un processus MA(q) est un ARMA(0, q).

Processus mixte ARMA(1,1)

Le modèle de cette série s'écrit [21, 20, 18, 43, 30] :

$$(1 - \phi B)y_t = (1 - \theta B)\varepsilon_t.$$

Condition de stationnarité : $|\phi| < 1$.

2. Modèles non stationnaires

Les processus AR, MA et ARMA, ont été introduit comme les processus aléatoires stationnaires, or ceux-ci sont de moyenne constante.

Les séries chronologiques en général ont non seulement une moyenne non nulle mais aussi ne sont pas stationnaires : elles comportent une tendance, une saisonnalité ou même une structure complexe [21, 20, 18, 43, 30].

a. Modèle autorégressif intégré moyenne mobile (ARIMA)

Une différence première d'une série est nécessaire une ou d fois : $Y_t = \nabla^d y_t$, Alors Y_t est un ARIMA(p, d,q).

Un processus est un ARIMA(p, d,q) si son équation est de la forme [21, 20, 18, 43, 30] :

$$\Phi(B)(1 - B)^d y_t = \Theta(B)\varepsilon_t. \quad (2.32)$$

$$\Phi(B)\nabla^d y_t = \Theta(B)\varepsilon_t. \quad (2.33)$$

Avec d , étant le degré d'intégration.

b. Modèle saisonnier autorégressif intégré moyenne mobile(SARIMA)

Si l'on veut de même traiter les saisonnalités de période s , on est amené à définir les processus SARIMA(p, d, q) (P, D, Q). Une série $(y_t, t \in T)$, suit un processus SARIMA d'ordre (p, d, q) (P, D, Q), si cette dernière a une saisonnalité d'ordre s et peut être écrite par :

$$\Phi_p(B)\Phi_P(B^s)\nabla^d\nabla_s^{D_s}Y_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)\varepsilon_t. \quad (2.34)$$

$\Phi_p(B)$: polynôme autorégressif ordinaire d'ordre p .

$\Phi_P(B^s)$: polynôme autorégressif saisonnier d'ordre P .

$\theta_q(B)$: polynôme moyenne mobile ordinaire d'ordre q .

$\Theta_Q(B^s)$: polynôme moyenne mobile saisonnier d'ordre Q .

∇^d : opérateur de différence ordinaire de degré d .

∇_s^D opérateur de différence saisonnier de degré D .

ε_t : Bruit blanc [21, 20, 18, 43, 30].

1.1.9.2.1. Méthodologie de Box et Jenkins

L'idée de Box et Jenkins⁶ dans la modélisation est de tenir compte des observations passées qui sont fortement corrélées avec le présent.

Leur méthode permet en plusieurs étapes de trouver le modèle ARMA susceptible de représenter la série chronologique, elle consiste à formuler plusieurs modèles à valider et à réviser, une fois le modèle connu on peut déterminer les prévisions.

Comme il faut encore représenter la tendance et la saisonnalité, on étend la classe des modèles ARIMA et SARIMA. En général la méthode est constituée des étapes suivantes [21, 20] :

6. George Box et Gwilym Jenkins, sont les deux statisticiens qui ont contribué, dans les années 1970, à populariser la théorie des séries temporelles univariées. Les procédures de modélisation sont présentées dans leur célèbre ouvrage intitulé " Time Series Analysis : Forecasting and control ". Il ont proposé une démarche générale de prévision pour les séries chronologiques.

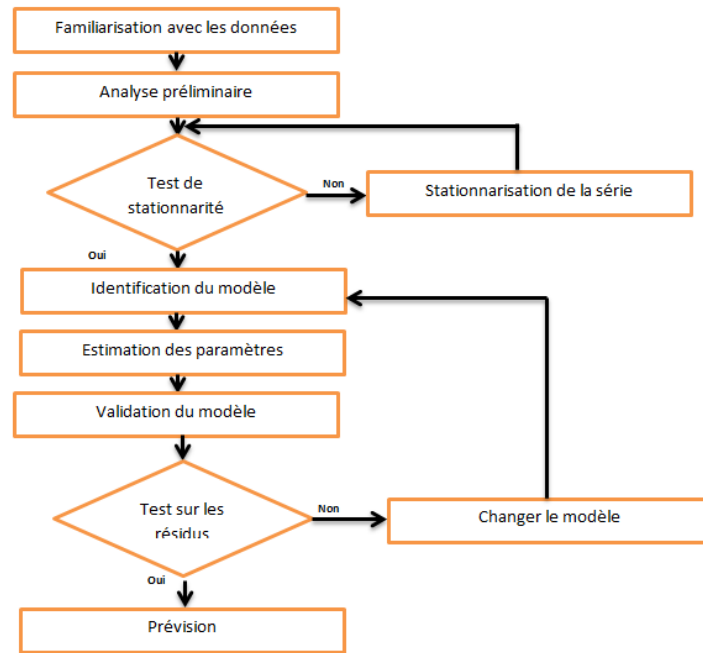


FIGURE 2.2 – Les étapes de la méthode de Box et Jenkins

1. Familiarisation des données

L'utilisateur doit s'informer sur la qualité des données (précision, incertitude, l'homogénéité des données, ...). L'utilisateur ainsi examine les représentations graphiques qui peuvent révéler par exemples des erreurs grossières.

2. Analyse préliminaire

Commencer par l'exercice d'option : abandonner une partie des données au début de la série, corriger les données aberrantes, suppléer les données manquantes, transformer les données (logarithme, inverse, racine carrée, ...), changer de variable (division par une autre série) et de ramener la série à un modèle ARMA stationnaire.

3. Identification du modèle

Elle se base sur la forme des autocorrélations et des autocorrélations partielles, pour spécifier le modèle.

On peut résumer les critères de choix d'un modèle dans le tableau suivant :

Modèle	Autocorrélation	Autocorrélation partielle
Bruit blanc	nulle pour $k > 0$	nulle pour $k > 0$
AR(p)	fonction amortie incluse dans l'enveloppe	nulle pour $k > p$
MA(q)	nulle pour $k > p$	fonction amortie incluse dans l'enveloppe
ARMA(p,q)	fonction amortie incluse dans l'enveloppe $k > q - p$	comportement général incluse dans l'enveloppe $k > q - p$

TABLE 2.1 – Critères de choix d'un modèle de prévision.

4. Estimation des paramètres

Les paramètres sont les coefficients des polynômes AR (autorégressif) et MA (moving average) non saisonniers, ainsi que des polynômes saisonniers SAR et SMA. et ce en minimisant certains critères tels que l'erreur moyenne carré (MSE) ou l'erreur moyenne absolue.

5. Validation du modèle

Une fois les paramètres sont estimés, on vérifie s'ils répondent aux conditions de stationnarité et d'inversibilité. Ensuite, il s'agit de tester si ces paramètres sont considérés comme significatifs (acceptables) ou sont à rejeter grâce au test de Student.

Test sur les paramètres

Ce test est basé sur la statistique :

$$T_i = \frac{|\hat{\theta}|}{\sigma(\hat{\theta})}. \tag{2.35}$$

Où : $\hat{\theta}$ est l'estimateur de θ et $\sigma(\hat{\theta})$ son écart type.

On montre que sous H_0 , T suit une loi de Student à $(n-k-1)$ degré de liberté.

La région critique est :

$$RC = [T_i > T_{tab}].$$

Où, $T_{tab} = T_{(n-k-1, \frac{\alpha}{2})}$ est la valeur théorique lue sur la table de Student à $(n - k - 1)$ degré de

liberté, au seuil de signification α .

tel que :

k est le nombre de paramètres du modèle.

n est la taille de l'échantillon.

Règle de décision

- Si $T_i > T_{(n-k-1, \frac{\alpha}{2})}$, on rejette H_0 , donc le paramètre θ_i est significatif.
- Si $T_i \leq T_{(n-k-1, \frac{\alpha}{2})}$, on accepte H_0 , donc le paramètre θ_i n'est pas significatif.

Ensuite, on examine les résidus du modèle c'est-à-dire : leurs moyenne est-elle-nulle ? les résidus forment-ils un processus bruit blanc ?

Tests sur les résidus [29]

– **Test de Box-Pierce (B-P)**

Soit ρ_k l'autocorrélation d'ordre k du processus $(\varepsilon_t, t \in T)$. Les hypothèses de test de B-P sont :

$$\begin{cases} H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0; \\ \text{contre} \\ H_1 : \exists i = \overline{1, k} \rho_i \neq 0. \end{cases}$$

Ce test est basé sur la statistique :

$$Q = n \sum_{t=1}^k \rho_t^2 \rightsquigarrow \chi_k^2. \tag{2.36}$$

n est le nombre d'observation.

– Si $Q \leq \chi_k^2(\alpha)$, on accepte H_0 (Les résidus forment un bruit blanc) ; Alors le modèle est bon.

– Si $Q > \chi_k^2(\alpha)$, alors on rejette H_0 .

$\chi_k^2(\alpha)$, est lue sur la table de khi-deux à k degré de liberté au seuil α .

– **Test de Ljung et Box**

Ce test est appliqué d préférence du test de B-P, lorsque l'échantillon est de petite taille.

Le test est basé sur la statistique :

$$Q = n(n+2) \sum_{i=1}^M \frac{\rho_i^2}{n-i} \rightsquigarrow \chi_{M-k}^2. \tag{2.37}$$

tester $H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = 0$, $i = \overline{1, M}$ contre $H_1 : \exists i \in 1, \dots, M$ tq $\rho_i \neq 0$.

où :

ρ_i : désignent les coefficients d'autocorrélations théoriques,

M : est la partie entière de $\min(\frac{n}{2}, 3\sqrt{n})$,

k est le nombre de paramètres du modèle.

- Si $Q_* > \chi^2_{M-k}$, on rejette H_0 , le modèle n'est pas bon.
- Si $Q_* \leq \chi^2_{M-k}$, on accepte H_0 , les résidus forment un bruit blanc et modèle donc est bon.

6. Prévision

Découle immédiatement du modèle retenu, on obtient aussi les variances des erreurs de prévision d'horizon 1,2,...

7. Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats n'est pas toujours simple. Les éléments les plus importants sont les opérateurs de différence et la constante puisqu'ils déterminent à long terme le comportement de la fonction prévision.

2.2 Simulation et test d'ajustement

La simulation est l'un des outils permettant de simuler des phénomènes réels.

Les objectifs principaux de la simulation sont l'évaluation des protocoles, d'architecture des réseaux et prévoir leur fonctionnement [24].

Il existe une multitude de simulateurs tel que : OPNET, QNAP, SimuLog, OMNET++, NS et **JMT**. Parmi ces simulateurs nous utilisons **JMT** car c'est un outil libre, plus utilisé et que nous avons facilement appris à travailler avec.

Les applications de la simulation sont innombrables. Parmi les domaines dans lesquels elle est le plus utilisée, on peut citer [24] :

- L'informatique : recherche de configurations, réseaux, architecture de bases de données,...
- La production : gestion des ressources de fabrication, machines, stocks, moyens de maintenance,...
- La gestion : marketing, tarification, prévisions, gestion du personnel,...
- l'administration : gestion du trafic, du système hospitalier, de la démographie,...
- L'environnement : pollution et assainissement, météorologie, catastrophes naturelles,...

2.2.1 Définition

La simulation est l'un des outils d'aide à la décision les plus efficaces à la disposition des concepteurs et des gestionnaires des systèmes complexes. Elle consiste à construire un modèle d'un système réel et à conduire des expériences sur ce modèle afin de comprendre le comportement de ce système et d'en améliorer les performances [24].

1.2.1.1. Eléments de la simulation

L'étude d'un système en utilisant la simulation se déroule en quelques étapes [24] :

- Définir l'objectif de la modélisation (lié au cahier des charges) : Pourquoi modélise-t-on ? Qu'étudie-t-on ? Que veut-on améliorer, ou faire ?
- Définir les éléments du système (via la réalisation d'une fonction, ou d'un processus) et les limites du système (les entrées, les sorties) et définir les interactions entre ces éléments (hiérarchie).
- Définir la dynamique du système (entités qui circulent entre les éléments, comportement du système au cours du temps).
- Abstraction (choisir les éléments du système pertinents pour l'étude).
- Formalisation, conceptualisation : Modèle mathématique (File d'attente, chaînes de Markov...), modèle logiciel (Simulink, Siman-Arena, NS2, JMT...), modèle graphique (réseaux de Petri, bond graphs).
- Modélisation mathématique du système ;
- Observer le système réel et comprendre ces caractéristiques ;
- Construire le modèle approprié de ce système ;
- Construire une simulation du modèle et l'exécution sur une machine ;
- Récolter et analyser les résultats de la simulation pour comprendre et prédire le comportement du système réel.

En général, un modèle de simulation regroupe deux grandes phases principales :

1. La phase de génération des nombres aléatoires suivant les lois de fonctionnement du système et qui ont été déduites de quelques observations réelles.
2. La phase d'élaboration du modèle de simulation et qui consiste à mettre à jour tout événement ayant de l'importance dans le système, ainsi que l'accumulation des valeurs des paramètres sur lesquels porte l'étude [24].

La figure ci-dessous présente le modèle de simulation [24] :

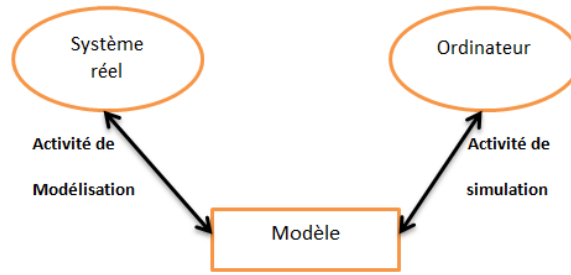


FIGURE 2.3 – Modèle de simulation

1.2.1.2. Problèmes et perspectives

Le problème central d’une expérience de simulation est celui de la correspondance entre le modèle simulable et la réalité qu’il représente. Lorsque le phénomène que l’on veut reproduire artificiellement est bien connu, c’est-à-dire lorsqu’il fait l’objet d’une théorie complète, cohérente et valide, il est possible d’élaborer un modèle qui soit une représentation très fidèle de ce phénomène [24].

La simulation est un procédé d’imitation artificielle d’un phénomène donné sur ordinateur et qui permet de prévoir son comportement. La figure ci-dessous présente les différentes étapes de la simulation.

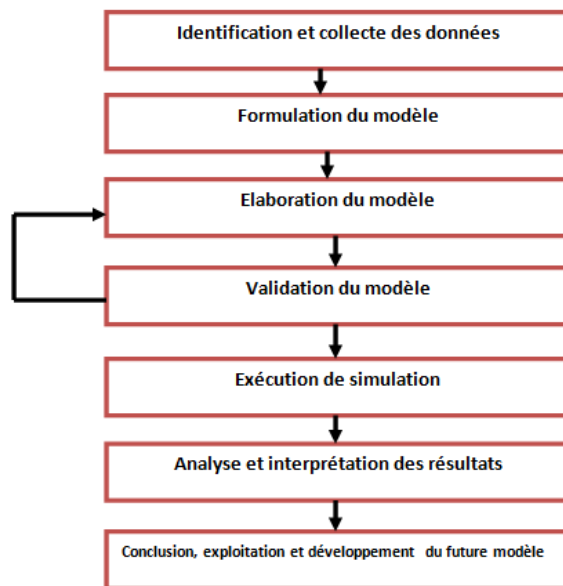


FIGURE 2.4 – Étapes de simulation

La formulation du phénomène peut s’effectuer au moyen de modèle mathématique qui représentent l’avantage de fournir des résultats reflétant une évolution stable du système dans le temps.

2.2.2 Les étapes d'une simulation

Les différentes étapes à suivre pour construire un modèle de simulation d'un système sont [24] :

Formulation du problème

Cette étape consiste principalement à identifier et analyser le problème, en déterminant ses composantes, leurs relations et les frontières entre le système et son environnement.

Elaboration du modèle

La deuxième étape de la simulation consiste à extraire un modèle aussi fidèle que possible du système réel, dans le but d'expliquer et de prédire certains aspects de son comportement.

Identification et collecte des données

La phase de l'identification de type de données à entrer dans le modèle est une phase très délicate et essentielle. La collecte des données est indispensable pour l'estimation des paramètres du modèle. Ceci requiert une connaissance des méthodes statistiques et des tests d'hypothèses.

Implémentation du modèle

Au cours de cette étape, le concepteur doit transcrire informatiquement le modèle sous forme exploitable par l'ordinateur (en utilisant des langages de programmation, logiciel...).

Validation du modèle

Cette phase consiste à évaluer les performances du modèle en les comparant à ceux du système réel. La validation du modèle construit, sera vérifiée par la méthode analytique.

La validation d'un modèle de simulation est un aspect très important qui est souvent négligé. Avec quel précision un modèle de simulation (Cas de n'importe quel type de modèle, d'ailleurs) reflète-il les opérations du système réel ?

Comment peut-on savoir que les résultats de la simulation obtenus sont exacts et significatifs ?

Les vérifications suivantes peuvent être effectuées afin de valider un modèle de simulation [24] :

1. Vérifier le générateur de nombres pseudo-aléatoires : les nombres générés sont-ils uniformément distribués dans $[0, 1]$ et vérifient-ils le test d'indépendance ?
2. Vérifier la logique du programme de simulation.
3. Vérifier la validité des relations. Assez souvent, la structure d'un système en cours d'étude n'est pas tout à fait reflétée dans le modèle de simulation. Par conséquent, il est important de se donner l'opportunité de vérifier si les hypothèses du modèle sont crédibles.
4. Vérifier la validité des résultats de sortie. On peut confronter les résultats obtenus par la simulation avec les données du système réel, dans le cas où elles existent. Ce dernier point peut être effectué par un test statistique de comparaison entre les mesures de performances (moyenne,

distribution, variance) retournées par la simulation et celles du système réel.

Exécution de la simulation

Le concepteur doit pouvoir mettre à l'épreuve le modèle en agissant sur les Paramètres qui le configurent. Il s'agit d'effectuer plusieurs exécutions et de recueillir les résultats obtenus [24].

Analyse et interprétation des résultats

Une fois les résultats sont obtenus, le concepteur passe à l'analyse et l'interprétation de ces résultats pour donner des recommandations et des propositions [24].

Exploitation et développement futur du modèle

Cette étape consiste à évaluer les perspectives d'exploitation du modèle pour d'autres préoccupations [24].

2.2.3 Intérêt, avantages et inconvénients de la simulation

Intérêt de la simulation

- Quand on ne peut pas facilement observer les états du système,
- Quand on désire analyser l'enchaînement des événements dans le système, ainsi que les relations de causes à effets,
- Quand on désire valider une solution analytique,
- Quand la complexité des interactions dans le système est telle qu'elle ne peut être étudiée qu'au travers de simulations,
- Quand on désire visualiser les états d'un système,
- Quand on veut tester différentes optimisations pour améliorer un système déjà existant [24].

Avantages de la simulation

- Observations des états du système, études des points de fonctionnement d'un système, études de systèmes à échelle de temps variable, études de l'impact des variables sur les performances du système et étude d'un système sans les contraintes matérielles.
- Permet de résoudre des problèmes complexes pour l'exploration des politiques (économie, gestion,...), la comparaison des différents systèmes complexes, vérification des solutions analytiques données sous forme complexe,...
- Ne nécessite pas de fortes connaissances en théories mathématiques et langage de simulation,...
- Permet de simuler rapidement (en quelque minute sur ordinateur) un processus évaluant sur une longue durée (mois, année,...) [24].

Inconvénients de la simulation

- Les résultats ne sont qu'approximatifs en raison des simplifications apportées sur le modèle.
- Nécessite beaucoup de dépenses : qui s'accroît sur la construction du modèle de programmation,...
- Il faut consacrer beaucoup de temps à la modélisation, l'expérimentation et la validation.
- Ne met pas en évidence les propriétés du modèle.
- Résultats difficilement interprétables, résultats pas forcément généralisables et résultats sont fonction des entrées du système [24].

2.2.4 Les techniques de la simulation

On peut distinguer deux types de simulation, la simulation par "trace" et la simulation à "événements discrets" [24] :

La simulation par trace

C'est la simulation d'un modèle déterministe (pas de tirage de nombres aléatoires) qui est dirigée par une conséquence ou trace obtenue à partir de mesures effectuées sur un système existant [24].

Simulation à événements discrets

La simulation à événements discrets désigne la modélisation d'un système réel tel qu'il évolue dans le temps par une représentation dans laquelle les caractéristiques du système réels (variables) ne changent qu'en un nombre ou dénombrable de points isolés dans le temps. Ses principaux éléments sont [24] :

1. Un descripteur des éléments de l'état du système sous-jacent nécessaires pour déterminer le déroulement de la simulation ;
2. Des compteurs et des places où seront stockés les résultats ;
3. Un échéancier pour engendrer les événements futurs ;
4. Les différents types d'événements, chacun avec sa description [24].

Il existe quatre méthodes de simulation à événements discrets. Chaque approche est caractérisée par une méthode différente pour faire progresser le système simulé dans le temps qui sont [24] :

- Méthode basée sur les activités ("**Approche Activité**") ;
- Méthode basée sur les événements ("**Approche Evènements**") ;

- Méthode basée sur les activités des évènements ("**Méthodes des 3 phases**") ;
- Méthode par interaction des processus.

L'approche par événements :

C'est l'approche de base, elle consiste en [24] :

- l'identification des différents types d'évènement possibles au cours de la durée de vie du système ;
- la description de la logique de fonctionnement entre événements : déterminer les changements d'états correspondant à chaque événement et les événements qui en résultent ;
- l'utilisation de calendrier d'évènements ou échéancier : liste des événements et leurs dates d'occurrence.

L'approche par activités :

Dans cette approche, les principales phases sont [24] :

- l'identification des différents types d'activités possible ;
- la description des caractéristiques des activités : conditions, conséquences, ... ;
- la représentation par diagrammes de cycles : succession d'états actifs (activités opérationnelles) et d'états passifs (attentes).

L'approche par processus :

Cette approche se caractérise par [24] :

- la présence des séquences d'évènements ou des activités similaires pour un type d'objet, défini sous forme de processus ;
- la description de fonctionnement du système complet par macro-représentation ;
- la gestion des conflits et la synchronisation entre processus par règles d'interruption et de reprise.

2.2.5 Tests d'ajustement

Les modèles que l'on peut établir se basent sur un échantillon de la population considérée. On fait l'hypothèse H_0 qu'elle suit une loi particulière, il s'agit donc de tester :

$$H_0 \text{ " } F(x) = F_0(x) \text{ " contre } H_1 \text{ " } F(x) \neq F_0(x) \text{ "}$$

Où $F(x)$: la fonction de répartition de la variable considérée. En suite, il faudra bien vérifier la validité. Cette vérification est obtenue par un test d'équivalence.

Pour cela, on admet dans l'utilisation des statistiques un risque α qui le risque de première espèce. C'est-à-dire la probabilité de rejeter H_0 lorsqu'elle est vraie.

Parmi ces tests d'adéquation nous citons le test de *Khi – Deux* et celui de *Kolmogorov – Smirnov*. Dans ce dernier, aucune restriction n'est nécessaire concernant la taille de l'échantillon. cependant si n est trop grand, il est préférable de regrouper en classe et d'utiliser le test de *Khi – Deux* [8].

Test de Khi-Deux

Soient :

n : Le nombre d'observation (nombres pseudo-aléatoire générés) ;

k : Le nombre de classes de l'ensemble $[0,1]$;

n_i : Les fréquences observées dans la i^{me} classe ;

$\frac{n}{k}$: La fréquence théorique de chaque classe (loi uniforme).

Pour tester l'hypothèse H_0 : "les nombres générés font partie d'un échantillon qui suit une loi uniforme", contre H_1 : "les nombres générés ne font pas parties d'un échantillon qui suit une loi uniforme", on utilisera la statistique D suivante [8] :

$$D = \frac{k}{n} \sum_{i=1}^k \left(n_i - \frac{n}{k} \right)^2$$

D suit approximativement sous l'hypothèse H_0 une loi de χ^2 à $k - 1$ degré de liberté. Pour un seuil de signification α , on rejette l'hypothèse H_0 si $D > \chi_{k-1}^2$. sinon, on accepte H_0 .

Remarque 2.3. Pour utiliser ce test, il faut respecter les règles suivantes :

- $n > 5$

- On utilise l'approximation de fisher de la loi de χ^2 pour la loi normale si $k > 30$.

Test de Kolmogorov-Smirnov

Ce test est plus puissant que le test de *Khi-Deux*, car c'est celui pour lequel le risque d'accepter H_0 à tort est plus faible. La procédure à suivre est la suivante [8] :

- On tire un échantillon de n observation à l'aide du générateur ;
- On classe les observations en ordre croissant ;
- On compare la fonction de répartition empirique $F_n(x)$ calculée à partir de ces n nombres pseudo-aléatoire avec la fonction de répartition théorique $F(x)$ (loi uniforme sur $[0,1]$)

$$\begin{aligned} D &= \max_x |F_n(x) - F(x)| \\ &= \max_x D(x_i) \end{aligned}$$

où :

$$F_n(x) = \frac{\text{nombre_d'observations} \leq x}{\text{la_taille_de_l'echantillon}(x)}$$

et $F(x) = x$ si $x \in [0, 1]$

On fixe un seuil de signification α , et on compare cet écart D à des valeurs critiques particulières

qu'on note D_n (n : la taille de l'échantillon) obtenus à partir de la table de *Kologorov – Smirnov* à un seuil donné α [8].

La décision sera :

- On accepte H_0 si $D < D_n$.
- On rejette H_0 sinon.

2.3 Files d'attente

La Théorie des files d'attente est une technique de la Recherche opérationnelle qui permet de modéliser un système admettant un phénomène d'attente, de calculer ses performances et de déterminer ses caractéristiques pour aider les gestionnaires dans leurs prises de décisions.

On parle de phénomène d'attente chaque fois que certaines unités appelées -clients- se présentent d'une manière aléatoire à des -stations- afin de recevoir un service dont la durée est généralement aléatoire. [13, 1, 31, 3, 33, 38, 8]

2.3.1 Chaîne de Markov

Une chaîne de Markov est une suite de variables aléatoires ($X_n, n \in \mathbb{N}$ dans le cas discret où $X_n, n \geq 0$ dans le cas continu) qui peuvent prendre leurs valeurs dans un espace d'états \mathbf{E} .

où : X_n : représente l'état du système à l'instant n .

Un processus de markov suppose que la probabilité de passer d'un état à un autre ne dépend que de l'état courant. Il n'y a pas de mémoire du passé.

Deux types de chaînes sont à considérer :

- Chaîne à temps discret où les transitions ne peuvent se produire qu'à des instants précis.
- Chaîne à temps continu où les transitions peuvent se produire à tout instant. Cependant, du fait de la propriété sans mémoire requise, le temps de séjour dans un état est distribué exponentiellement.

Une chaîne de markov est dite **homogène** si les probabilités de transition ne dépendent pas du temps,

Elle est dite **irréductible** si tout état est accessible à partir de n'importe quel autre état [6, 13, 1, 31, 3, 33, 38, 8].

Chaîne de Markov à temps discret• **Propriété sans mémoire**

$$P(X_n = i_n | X_1 = i_1, X_2 = i_2, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}) = P(X_n = i_n | X_{n-1} = i_{n-1})$$

• **Equation de Chapman-Kolmogorov**

$$P_{ij}(m, n) = \sum_{k \in \mathbb{E}} P_{ik}(m, q) P_{kj}(q, n)$$

avec $P_{ij}(m, n) = P(X_m = j | X_n = i)$

• A l'état l'équilibre, on trouve le vecteur

$$\pi = (P_0, P_1, \dots, P_n)$$

par la résolution de : $\pi = P\pi$

Chaîne de Markov à temps continu• **Propriété sans mémoire**

$$P(X_{t_n} = i_n | X_{t_1} = i_1, X_{t_2} = i_2, \dots, X_{t_{n-1}} = i_{n-1}) = P(X_{t_n} = i_n | X_{t_{n-1}} = i_{n-1})$$

• **Equation de Chapman-Kolmogorov**

$$P_{ij}(s, t) = \sum_{k \in \mathbb{E}} P_{ik}(s, u) P_{kj}(u, t)$$

avec $P_{ij}(s, t) = P(X_t = j | X_s = i)$

• A l'état l'équilibre, on trouve le vecteur

$$\pi = (P_0, P_1, \dots, P_n)$$

par la résolution de : $0 = \pi Q$

2.3.2 Processus de comptage

Un processus stochastique $\{N(t), t \in R^+\}$ (où R^+ est l'ensemble des réels non négatifs) est un processus de comptage si $N(t)$ représente le nombre d'événements se déroulant dans l'intervalle de temps $[0, t]$. Il possède donc les propriétés suivantes [6] :

- C'est un processus à temps continu et à valeurs entières non négatives.
- $N(0) = 0$. (Cette condition initiale est arbitraire : on aurait pu prendre une autre valeur, ou un autre temps que 0.)
- Si $t_1 < t_2$ alors $N(t_1) \leq N(t_2)$.
- Le nombre d'événements se déroulant dans l'intervalle $]t_1, t_2]$ est donné par $N(t_2) - N(t_1)$.

2.3.3 Processus de Poisson

Un processus de poisson homogène d'intensité (taux) $\lambda > 0$ est un processus de comptage $N(t), t \geq 0$ qui satisfait aux trois hypothèses [6] :

- **H1.** Le processus est à accroissements indépendants : des évènements se déroulant dans des intervalles de temps disjoints sont indépendants, i.e.

$$P(\{N(t+T) - N(t) = n_0\} \cap \{N(t) = n_1\}) = P((N(t+T) - N(t) = n_0)P(N(t) = n_1)$$

- **H2.** Le processus est homogène dans le temps, ce qui signifie que ses accroissements sont stationnaires : le nombre d'évènements se déroulant dans un intervalle de temps ne dépend que de sa longueur, i.e.

$$P((N(t+T) - N(t) = n_0) = P(N(T) = n_0)$$

- **H3.** La probabilité que deux évènements ou plus se produisent dans un petit intervalle de temps Δt est négligeable par rapport à la probabilité qu'il ait qu'un seul évènement. Plus précisément,

$$P(N(\Delta t) = 1) = \lambda \Delta t + o(\Delta t)$$

$$P(N(\Delta t) \geq 2) = o(\Delta t)$$

Où λ est un paramètre positif (appelé intensité et où la fonction $f(\cdot)$ est $o(\Delta t)$ si

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(\Delta t)}{\Delta t} = 0.$$

2.3.4 Processus de naissance et de mort

Un processus de naissance et de mort est un processus de markov à temps continu tel que de l'état $n \geq 0$ on ne puisse aller que vers l'état $n - 1$ ou vers l'état $n + 1$.

2.3.5 Le formalisme files d'attente

D'innombrables phénomènes de la vie courante peuvent être décrits mathématiquement comme des systèmes de files d'attente. a titre d'exemple, nous citerons les situations suivantes [1, 31, 37, 17, 8] :

- **Système de production**

Une machine fabrique différents types de produits.

Dans combien de temps peut-on satisfaire une commande donnée ?

Quelle serait la réduction du temps de production si on a une machine supplémentaire ?

Devrait-on assigner des priorités aux commandes ?

– **Appels au niveau d'un central téléphonique**

Combien de temps en moyenne un client peut-il mettre avant que son appel ne passe ?

Combien de fois en moyenne un client doit-il rappeler pour être servi ?

Le nombre de lignes téléphoniques est-il suffisant eu égard un nombre d'appels simultanés à un instant donné ?

– **Feux de signalisation**

Comment régler les feux de signalisation de façon que le temps d'attente soit acceptable ?

Définition 2.5. *on appelle un système de file d'attente l'abstraction mathématique d'un sujet qu'on peut décrire par les éléments suivants :*

- *Le flot des arrivées des clients.*
- *La source des clients.*
- *Le comportement du client.*
- *La loi de la durée de service de chaque client.*
- *La discipline de service.*
- *Le nombre de serveurs.*
- *La capacité de la file.*

2.3.6 Notation de Kendall

Pour la classification des systèmes d'attente, on utilise la notation suivante introduite en 1953 par Kendall : $A/B/C/(K/L/DS)$. Cette notation précise les six symboles qui définissent une file d'attente, à savoir [1, 31, 3, 33, 38, 37, 6, 17, 38, 39, 9, 40, 41, 14, 5, 8] :

- **A** : Distribution des temps entre deux arrivées consécutives.
- **B** : Distribution des durées de service.
- **C** : Le nombre de serveur en parallèle.
- **K** : Capacité du système (file et serveurs).
- **L** : La taille de la population.
- **DS** : Discipline de la file qui d'écrit l'ordre par lequel les arrivées dans le système vont accéder au service. Ces disciplines peuvent être :
 - **FIFO(First In First Out)** : Le premier arrivé est le premier servi ;
 - **LIFO(Last In First Out)** : Le dernier arrivé sera le premier servi ;
 - **Random (aléatoire)** : Les clients sont servis d'une manière aléatoire, indépendamment de l'ordre des arrivées ;
 - **Priorité relative** : Un client accède au service selon sa priorité. La file est gérée par ordre de priorité, de la plus forte à la plus faible ;

- **Priorité absolue** : Le service d'un client est interrompu lorsqu'un client de priorité supérieure se présente devant la file d'attente. Le client dont son service est interrompu est remis en tête de la file.

Dans la description des processus d'arrivée et de service, les symboles les plus courants sont :

- M : loi Exponentielle ;
- E : loi d'Erlang ;
- Γ : loi Gamma ;
- D : loi Déterministe (temps d'inter-arrivées ou de service constant) ;
- G : loi Générale (quelconque).

La forme abrégé est :A/B/C signifie que K et L sont infinies.

2.3.7 Notion de classes de clients

Une file d'attente peut être parcourue par différentes classes de clients. Ces différentes classes se distingueront par :

- Des processus d'arrivée différents ;
- Des temps de service différents ;
- Un ordonnancement dans la file d'attente fonction de leur classe.

Pour définir une file multiclassés, il faut définir pour chaque classe de clients le processus d'arrivée et la distribution du temps de service associés. Il faut également préciser comment les clients des différentes classes s'ordonnent dans la file d'attente.

2.3.8 Mesures de performance d'une file d'attente

L'étude d'une file d'attente a pour but de calculer ou d'estimer les performances d'un système dans des conditions de fonctionnement données. Ce calcul se fait le plus souvent pour le régime stationnaire uniquement et les mesures les plus fréquemment utilisées sont [5] :

- $\bar{n} = E(X)$: nombre moyen de clients dans le système ;
- \bar{v} : nombre moyen de client dans la file d'attente ;
- \bar{t}_s : temps moyen de séjour d'un client dans le système ;
- \bar{t}_f : temps moyen d'attente d'un client dans la file ;

Ces valeurs ne sont pas indépendantes les unes des autres, mais sont liées par les relations suivantes :

- $\bar{n} = \lambda \bar{t}_s$ (**Formule de little**) ;
- $\bar{v} = \lambda \bar{t}_f$;
- $\bar{t}_s = \bar{t}_f + \frac{1}{\mu}$;

$$- \bar{t}_f = \bar{v} + \rho.$$

avec λ et μ représentent respectivement les taux d'arrivées et de service.

2.3.9 Stabilité

une file d'attente est stable si le nombre moyen de clients qui arrivent à la file par unité de temps est inférieur au nombre moyen de clients que le serveur de la station est capable de traiter, c-à-d : une file est stable si et seulement si [35] :

$$\lambda < m\mu \Leftrightarrow \rho = \frac{\lambda}{m\mu} < 1$$

Où : ρ est appelé l'intensité du trafic, avec $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

2.3.10 Les files d'attente markoviennes

La file M/M/1

On considère un système de file d'attente $M/M/1$, donc une file à un seul serveur. Les inter-arrivées sont des variables aléatoires exponentiel de paramètre λ et les durées de service sont des variables aléatoires exponentiel de paramètre μ . La capacité d'attente est illimitée. On notera $\rho = \lambda/\mu$ [6].

$$\bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho},$$

$$\bar{v} = \frac{\rho^2}{1-\rho},$$

$$\bar{t}_s = \frac{1}{\mu(1-\rho)},$$

$$\bar{t}_f = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)},$$

Pour que ce système soit en équilibre, ou stable, il faut que la condition $\rho < 1$ soit vérifiée. Cette condition est appelée la condition d'ergodicité[6].

La file M/M/m

On considère un système de file d'attente $M/M/m$. Les clients arrivent suivant un processus de poisson de paramètre λ et vont se faire servir dans un des m serveurs. Chaque serveur ne sert qu'un client à la fois. Les temps de service sont indépendants entre eux et des arrivées suivent des lois exponentiel de paramètre μ . Dès qu'un guichet de libère, le premier client de la file (éventuel) va immédiatement s'y faire servir. Ce type de file forme un processus de naissance et de mort [6].

Soit P_0 la probabilité que la station soit vide :

$$P_0 = \sum_{k=0}^{m-1} \left[\frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^m}{m!(1-\rho/m)} \right]^{-1},$$

Le nombre moyen de clients dans la file est :

$$\bar{v} = L_f = \Pi_0 \frac{\rho^{m+1}}{(m-1)!m-\rho^2},$$

Le nombre moyen de clients dans le système (en attente et en service) est :

$$\bar{n} = L_s = L_f + \lambda/\mu,$$

Les expressions de t_s et t_f peuvent être calculées par les formules de Little.

$$\rho = \frac{\lambda}{m\mu}, \text{ la condition d'ergodicité est : } \lambda < m\mu \text{ [6].}$$

La file M/M/m/K

On considère un système de file d'attente $M/M/m/K$. Les clients arrivent selon un processus de poisson de paramètre λ et vont se faire servir dans un des m serveurs. La capacité de ce système est de K clients.

La probabilité stationnaire du ce système égale à [6] :

$$\Pi_k = \begin{cases} \frac{(m\rho)^k}{k!} \Pi_0, & k = 1, \dots, m-1 \\ \frac{\rho^k m^m}{m!} \Pi_0, & k = m, m+1, \dots, K. \end{cases}$$

Où $\rho = \frac{\lambda}{m\mu}$.

L'équation de normalisation écrit sous cette forme :

$$\sum_{k=0}^K \Pi_k = 1.$$

Le nombre moyen de clients en attente dans le système égale à :

$$\bar{n} = \sum_{k=1}^K k \Pi_k$$

Le nombre moyen de client dans la file est égale à :

$$\bar{v} = \sum_{k=m+1}^K (k-m) \Pi_k$$

Le temps moyen de séjour est égale à :

$$\bar{t}_s = \frac{\bar{n}}{\lambda(1-\Pi_k)}$$

Le temps moyen d'attente est égale à :

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{v}}{\lambda(1-\Pi_k)}$$

2.3.11 Les files d'attente non markoviennes

La file M/G/1

Une file $M/G/1$ est caractérisée par un processus d'arrivée poissonnien et par des temps de service indépendants et identiquement distribués selon une loi de probabilités "quelconque" (mais ne prenant que des valeurs non négatives) [35].

Les caractéristiques de ce système sont données par les relations suivantes :

- Le nombre moyen de clients dans la file est :

$$\bar{v} = \left(\frac{1 - C_s^2}{2}\right) \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad \text{(Formule de Pollaczek-Khinchin)}$$

avec C_s^2 est le carré du coefficient de variation de la loi décrivant les temps de service des clients

- Le nombre moyen de clients dans le systeme est :

$$\bar{n} = \bar{v} + \rho = \left(\frac{1 - C_s^2}{2}\right) \frac{\rho^2}{1 - \rho} + \rho$$

- Le temps moyen d'attente dans la file est :

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{v}}{\lambda} = \frac{(1 - C_s^2)\lambda}{2(1 - \rho)\mu^2}$$

- Le temps moyen de séjour dans le systeme est :

$$\bar{t}_s = \bar{t}_f + \frac{1}{\mu} = \frac{(1 - C_s^2)\lambda}{2(1 - \rho)\mu^2} + \frac{1}{\mu}$$

Système G/M/1

Système dual d'une file M/G/1, une file G/M/1 est caractérisée par des temps de service exponentiels et un processus d'arrivée correspondant à un processus de renouvellement quelconque. Pour l'étude de ce système, on fait appel à la chaîne de Markov induite [35].

Les caractéristiques de ce système sont données par les relations suivantes :

- Le temps moyen d'attente dans la file est :

$$\bar{t}_f = \frac{\alpha}{\mu(1 - \alpha)}$$

- Le temps moyen de séjour dans le systeme est :

$$\bar{t}_s = \frac{\alpha}{\mu(1 - \alpha)} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu(1 - \alpha)}$$

- Le nombre moyen de clients dans la file est :

$$\bar{v} = \frac{\rho\alpha}{(1 - \alpha)}$$

- Le nombre moyen de clients dans le systeme est :

$$\bar{n} = \bar{v} + \rho = \frac{\rho\alpha}{\mu(1 - \alpha)} + \rho = \frac{\rho}{1 - \alpha}$$

Telle que :

$\alpha = A^*(\mu(1 - \alpha))$ où A^* est la transformée de Laplace de la densité des variables aléatoires modélisant les temps entre deux arrivées successives $a(t)$.

Cette équation s'écrit aussi $\alpha = \int_0^\infty \exp(-\mu t(1 - \alpha)a(t)d(t)$, sous la condition de stabilité $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ on peut montrer que cette équation possède une unique solution α comprise entre 0 et 1. Cette dernière valeur calculée, ce qui n'est généralement possible qu'à l'aide de méthodes numériques, la probabilité stationnaire qu'un client arrivant dans la file y trouve k clients est égale à

$$\pi_k = (1 - \alpha)\alpha^k, \quad k = 0, 1, \dots$$

La file G/G/1

Malgré l'apparence simplicité du modèle, la file G/G/1 est un système complexe pour lequel seules des approximations et des bornes existent dans le cas général. A ce titre une des approximations les plus simples, dérivant directement de la formule de Pollaczek-Khinchin, est :

$$\bar{t}_{fG/G/1} \simeq \left(\frac{C_A^2 + C_S^2}{2}\right)\bar{t}_{fM/M/1}$$

où : C_A^2 est le coefficient de variation des temps entre deux arrivées successives au carré et C_S^2 est le coefficient de variation des temps de service au carré.

- Le nombre de clients dans le système :
 $\bar{n} = \bar{v} + U$, où U : est le nombre de clients dans la file.
- Temps moyen de séjour dans le système :
 $\bar{t}_s = \bar{t}_f + \bar{S}$, où \bar{S} : la moyenne de la fonction de répartition de la loi des arrivées .

2.3.12 Priorité relative

Le système d'attente avec priorité relative peut aussi être considéré comme un système d'attente avec serveur non fiable, la panne est prise en considération après que le client en service ait terminé son service. La période de réparation est considéré comme la période de service du client prioritaire [33].

Système $M_2/M_2/1$ avec priorité relative

Ce système a été étudié par plusieurs chercheurs, parmi eux Rupert, Gelenbe et Gross.

Dans ce système les arrivées sont à deux classes de clients [33] :

Classe 1 : Clients non prioritaires.

Classe 2 : Clients prioritaires.

Les deux types des clients arrivent indépendamment les uns des autres suivant un processus poissonien avec respectivement les taux λ_1 et λ_2 . Les services des clients prioritaires se fait suivant la loi exponentielle de taux μ_1 et μ_2 respectivement. La condition d'ergodicité est : $\lambda/\mu < 1$ avec $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$

et $\mu = \mu_1 + \mu_2$

Le temps moyen d'attente d'un client dans la file :

Client prioritaire : $E(W_1) = \frac{E(W_0)}{1-\sigma_1}$ où $E(W_0)$ est le temps moyen résiduel du client en cours de service et $\sigma_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$

Client non prioritaire : $E(W_2) = \frac{E(W_0)}{(1-\sigma_1)(1-\sigma_2)}$ où $\sigma_2 = \frac{\lambda_1+\lambda_2}{\mu_1\mu_2}$

Le temps moyen de séjour d'attente d'un client dans le système :

Client prioritaire : $E(S_1) = E(W_1) + E(B_1)$ où $E(B_1)$ la moyenne de service de client prioritaire.

Client non prioritaire : $E(S_2) = E(W_2) + E(B_2)$ où $E(B_2)$ la moyenne de service de client non prioritaire [33].

Le nombre de clients dans la file :

Client prioritaire : $Q_1 = \lambda_1 \times E(W_1)$

Client non prioritaire : $Q_2 = \lambda_2 \times E(W_2)$

Le nombre de clients dans le système :

Client prioritaire : $L_1 = \lambda_1 \times E(S_1)$

Client non prioritaire : $L_2 = \lambda_2 \times E(S_2)$

2.4 Réseaux de files d'attente

La modélisation d'un système à l'aide d'une seule file d'attente n'offre qu'un champ d'applications restreint. Bien souvent, un client a besoin de recevoir plusieurs traitements consécutifs et de différentes natures avant de quitter un système. Les réseaux de files d'attente permettent de modéliser de telles situations [31, 6, 37, ?, 17, 38, 39, 9].

Définition 2.6. *Un réseau de files d'attente est un ensemble de files simples (stations) interconnectées [31].*

2.4.1 Les réseaux ouverts

Dans un réseau de files d'attente ouvert, les clients arrivent de l'extérieur, circulent dans le réseau à travers les différentes stations, puis quittent le réseau. Le nombre de clients pouvant se trouver à un instant donné dans un réseau ouvert n'est pas limité [31].

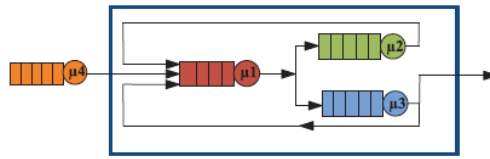


FIGURE 2.5 – Réseau ouvert.

2.4.2 Les réseaux fermés

Lorsqu'aucun client ne peut ni entrer dans le système ni le quitter, le réseau est dit fermé. Le nombre de clients dans un réseau fermé est donc constant au cours du temps [31].

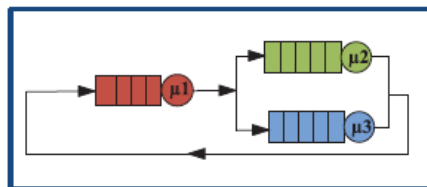


FIGURE 2.6 – Réseau fermé.

Il existe également des réseaux mixtes qui ne sont, cependant, qu'une juxtaposition de systèmes ouverts et fermés [31].

2.4.3 Les réseaux multi-classes

Les réseaux de files d'attente peuvent être classifiés en deux catégories principales [31] :

- **les réseaux de files d'attente mono-classe** : dans lesquelles circulent une seule classe de clients.
- **les réseaux de files d'attente multi-classes** : dans laquelle circulent plusieurs classes de clients.

Comme pour les files simples, les réseaux de files d'attente peuvent être parcourus par différentes classes de clients. Ces différentes classes se distingueront par [31] :

- Des processus d'arrivées différents ;
- Des comportements des clients qui sont différents à chaque station ;
- Des routages différents dans le réseau.

Remarque 2.4. Dans le cas de réseaux mono-classe, on peut également les distinguer selon qu'ils soient [31] :

- **Les réseaux ouverts** : Ces réseaux possèdent une ou plusieurs entrées de l'extérieur et le nombre de clients à un instant donnée n'est pas limité.
- **Les réseaux fermés** : Un réseau est fermé si les clients ne peuvent pas le quitter. Dans un réseau fermé, le nombre de clients est généralement fixe. Ces derniers sont présentés dans le système dès le début de son évolution.

Pour les réseaux multi-classes, il faut préciser pour chaque classe si elle est ouverte ou fermée. Si toutes les classes d'un réseau sont ouvertes (resp fermées), on parlera de réseau purement ouvert (resp purement fermé). Un réseau parcouru à la fois par des classes ouvertes et par des classes fermées, sera qualifié de réseau mixte [31].

Un réseau de files d'attente est caractérisé par les paramètres suivants [31] :

- **Le chemin suivi par les clients dans le système** : Ce chemin peut être statique (chaque client va de serveur en serveur suivant une route prédéterminé), soit dynamique : après le service dans une station, le client a le choix entre plusieurs autres stations pour poursuivre son traitement. Ce choix est éventuellement pondéré par des fonctions de probabilité ;
- **Les classes de clients** : Plusieurs classes de clients peuvent être présentes dans le système. Tous les clients appartenant à une même classe suivront le même chemin. Par contre, à l'intérieur de la station, les différentes classes restent en compétition pour recevoir leur traitement ;
- **Le comportement des stations (notion de Kendall)** : Soit n_1, n_2, \dots, n_k , le nombre de clients respectivement dans les files de 1, 2, ..., K , le comportement du réseau est totalement défini par les valeurs de $P(n_1, n_2, \dots, n_k, t)$. Avec $P(n_i, t)$ la probabilité d'avoir n_i clients dans la file i au temps t .

2.4.4 Réseaux mixtes

Un réseau est dit mixte, s'il est ouvert pour certains clients et fermé pour d'autres [31].

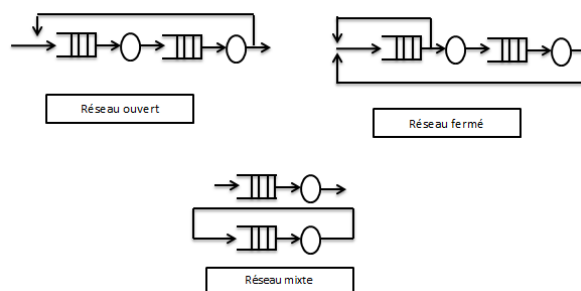


FIGURE 2.7 – Réseau ouvert, fermé et mixte

2.4.5 Réseaux à forme produits

La définition la plus simple de l'état d'un réseau consiste à définir l'état x_t du système au temps t comme le vecteur (x_t^1, \dots, x_t^j) où x_t^j est le nombre de clients présents à l'instant t dans la file j . Sous certaines conditions, un réseau stable possède une distribution stationnaire $\Pi^*(x) = \Pi^*(x^1, \dots, x^j) = \prod_{j=1}^J \Pi_j^*(x_j)$. Un tel réseau est dit à forme produit et se comporte comme J files indépendantes de distribution stationnaire Π_j^* , $j = 1, \dots, J$. [31]

2.4.6 Réseaux de Jackson

Les réseaux de Jackson sont les réseaux de files d'attente les plus simples. Leur solution stationnaire s'exprime se forme produit, et peut donc être calculée explicitement ou numériquement [31].

Définition 2.7. *Un réseau de jackson est composé de N files d'attente ne comportant chacune qu'un seul serveur de capacité infinie et utilisant une discipline de service "FIFO" [31].*

Chaque file fournit un service de durée exponentielle. Le taux de service de la file j étant μ_j .

Les clients (appartenant tous à la même classe) arrivent dans le système selon un processus de poisson, le taux d'arrivée dans la file étant λ_j . Après avoir terminé son service à la station j , un client se déplace à la station k avec la probabilité P_{jk} et quitte le système avec la probabilité P_{jN+1} , où [31] :

$$P_{jN+1} = 1 - \sum_{k=1}^N P_{jk}$$

De telles règles définissent un routage markovien. Les réseaux de Jackson sont un cas particulier des réseaux de files d'attente qui possèdent une solution à forme produit. Les restrictions portent sur [31] :

- *Les classes de clients : seule une classe de clients peut être présente dans le système.*
- *Le temps de service qui est obligatoirement une loi exponentielle dont le taux dépend du nombre de client dans la file.*
- *La politique de sélection des clients dans la file d'attente est FIFO.*

Les réseaux de Jackson ouverts

Un réseau de Jackson ouvert est un réseau formé par l'interconnexion de n files de type $M/M/1$ (que l'on supposera numérotées de 1 à n) où les clients arrivent selon des processus de poisson et se déplacent en suivant de règles de routage markoviennes. Plus précisément, les clients arrivent de l'extérieur du système selon des processus de poisson indépendants, le taux d'arrivée dans la file i

étant constant et égale à γ_i , $1 \leq i \leq n$. Chaque station i du réseau est régie par une discipline *FIFO*, possède un nombre fini m_i de serveurs et fournit des traitements dont les durées sont indépendantes et identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre μ_i constant. Après avoir complété son service dans une file i , un client est envoyé à la file j avec la probabilité r_{ij} et quitte le système avec la probabilité

$$r_{i0} = 1 - \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad i = 1, \dots, n.$$

L'état d'un réseau de Jackson à l'instant t est donné par le vecteur $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$ où $x_i(t)$ est le nombre de clients présents dans la file i ($1 \leq i \leq n$). [31]

2.4.7 Les réseaux BCMP

Définition 2.8. *Les réseaux BCMP (Baskett, Chandy, Muntz et Palacios) sont une extension des réseaux de Jackson. Ils en gardent la solution en forme produit à l'état d'équilibre, mais ils autorisent plusieurs classes de probabilités des clients et des disciplines de service différentes de FIFO. Les probabilités d'un acheminement de clients à travers ce type de réseau sont données par l'intermédiaire d'une chaîne de Markov, de probabilité de transition :*

$$P = (P_{ir,ir'}, i = 1, \dots, N + 1, j = 1, \dots, N + 1, r = 1, \dots, R, r' = 1, \dots, R)$$

Elle exprime la probabilité qu'un client de classe r de la station i se dirige vers la station j de la classe r' . On peut également avoir une source et un puits dans ce réseau, tel que : $P_{0,jr'}$ = probabilité qu'un client venant de la source entre dans la file j en classe r' .

$P_{ir,N+1}$ = probabilité qu'un client de la file i de la classe r sort vers l'extérieur [39].

2.4.8 Caractéristiques d'un réseau de files d'attente

Les caractéristiques d'un réseau de file d'attente sont [39] :

\bar{V} : Le temps moyen de réponse dans le système,

\bar{V}_i : Le temps moyen de réponse dans la station i ,

\bar{N} : Le nombre moyen de client dans le système,

\bar{N}_i : Le nombre moyen de client dans la station i .

où :

$$\bar{N} = \sum_{i=1}^N \bar{N}_i,$$

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^N \bar{V}_i.$$

2.5 Bases de données

2.5.1 Définition d'une base de données

Une base de données est un ensemble de données modélisant les objets d'une partie du monde réel et servant de support à une application informatique. Les données doivent être interrogeables selon n'importe quel critère, il doit être possible aussi de retrouver leur structure [32].

2.5.2 Système de Gestion de Base de Données (SGBD)

Un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD) est un logiciel de haut niveau permettant aux utilisateurs de structurer, d'insérer, de modifier, de rechercher de manière efficace des données spécifiques, au sein d'une grande quantité d'informations et stockées sur mémoires secondaires partagée de manière transparente par plusieurs utilisateurs. Plus précisément, les systèmes de gestion de bases de données (SGBD) sont des programmes permettant à l'utilisateur de créer et de gérer des bases de données [32].

Les SGBD sont des logiciels à usage général qui assurent les processus de définition, de construction, de manipulation et de partage des bases de données par et entre les différents utilisateurs et applications [32].

2.5.3 Le modèle relationnel

Le modèle relationnel a été formalisé par CODD en 1970. Quelques exemples de réalisation en sont : DB2(IBM), INFORMIX, INGRES, ORACLE. Dans ce modèle, les données sont stockées dans des tables, sans préjuger de la façon dont les informations sont stockées dans la machine. Un ensemble de données sera donc modélisé par un ensemble de tables [32].

Quelques Définitions

- **Domaine** : Ensemble de valeurs.
- **Relation** : Sous-ensemble du produit cartésien d'une liste de domaines caractérisé par un nom. En d'autres termes, une relation n'est ni plus ni moins qu'une table dans laquelle chaque colonne correspond à un domaine et porte un nom ce qui rend leur ordre sans aucune importance.
- **Attribut** : Colonne d'une relation caractérisée par un nom.
- **Schéma de relation** : Nom de la relation, suivi de la liste des attributs avec leurs domaines.
- **Base de données relationnelles** : Base de données dont le schéma est un ensemble de schémas de relations et dont les occurrences sont les tuples de ces relations.

- **Système de gestion de bases de données relationnel** : C'est un logiciel supportant le modèle relationnel, et qui peut manipuler les données avec des opérateurs relationnels [32].

2.5.4 Opérateurs relationnels

- **Projection** : Opération qui consiste à supprimer des attributs d'une relation et à éliminer les tuples en double apparaissant dans la nouvelle relation. Cette opération est notée \prod_i .
- **Restriction** : Opération qui consiste à supprimer les tuples d'une relation ne satisfaisant pas la condition précisée.
- **Jointure** : Opération qui consiste à faire le produit cartésien de deux relations, puis à supprimer les tuples ne satisfaisant pas une condition portant sur un attribut de la première relation et sur un attribut de la seconde.
- **Union** : Opération portant sur deux relations ayant le même schéma et construisant une troisième relation constituée des tuples appartenant à chaque relation. Les tuples en double sont éliminés.
- **Différence relationnelle** : Opération portant sur deux relations ayant le même schéma et construisant une troisième relation dont les tuples sont constitués de ceux ne se trouvant que dans une seule relation.
- **Intersection** : Opération portant sur deux relations ayant le même schéma et construisant une troisième relation dont les tuples sont constitués de ceux appartenant aux deux relations [32].

2.5.5 Formes normales

- **Dépendance fonctionnelle** : Soit $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ un schéma de relation, et X et Y des sous-ensembles de A_1, A_2, \dots, A_n . On dit que X détermine Y ou que Y dépend fonctionnellement de X si, et seulement si, des valeurs identiques de X impliquent des valeurs identiques de Y . On le note [32] : $X \implies Y$.
- **Dépendance fonctionnelle élémentaire** : C'est une dépendance fonctionnelle de la forme $X \implies Y$, où A est un attribut unique n'appartenant pas à X et où il n'existe pas X' inclus dans X tel que $X \implies Y$ [32].
- **Clé de relation** : Soit $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ un schéma de relation, et X un sous-ensemble de (A_1, A_2, \dots, A_n) , X est une clé si, et seulement si [32], :
 1. $X \implies (A_1, A_2, \dots, A_n)$
 2. X est minimale
- **Première forme normale** : Une relation est en première forme normale si et seulement si

tout attribut contient une valeur atomique [32].

- **Deuxième forme normale** : Une relation est en deuxième forme normale si et seulement si [32] :
 1. elle est en première forme normale ;
 2. tout attribut n'appartenant pas à une clé ne dépend pas que d'une partie de cette clé.
- **Troisième forme normale** : Une relation est en troisième forme normale si et seulement si [32] :
 1. elle est en deuxième forme normale ;
 2. tout attribut n'appartenant pas à une clé ne dépend pas d'un attribut non-clé.
- **Forme normale de BOYCE-CODD** : Une relation est en Forme normale de BOYCE-CODD (BCNF) si, et seulement si, les seules dépendances fonctionnelles élémentaires sont celles dans lesquelles une clé détermine un attribut [32].

2.5.6 Langage SQL

Les langages associés au modèle relationnel

- Langages assertionnels pour décrire et manipuler les BD relationnelles. Ils permettent de spécifier les ensembles de données à sélectionner ou à mettre à jour à partir de propriétés des valeurs (qualification), sans dire comment retrouver les données : " dire QUOI sans dire COMMENT ".
- Deux classes de langages correspondant à la manière de considérer une relation [32].

2.6 Logiciels et outils informatiques

2.6.1 R

R est un logiciel de calcul scientifique interactif interprété et orienté objet libre qui possède une très large collection de méthodes statistiques et des facilités graphiques importantes. C'est un clone gratuit du logiciel S-Plus commercialisé par MathSoft et développé par STATISTICAL Sciences autour du langage S (conçu par les laboratoires Bell) [53].

Le logiciel **R** initié dans les années 90 par Ross Ihaka et Robert Gentleman. Il est à la fois un langage et un environnement de travail : les commandes sont exécutées grâce à des instructions codées dans un langage relativement simple, les résultats sont affichés sous forme de texte et les graphiques sont visualisés directement dans une fenêtre qui leur est propre. En effet **R** possède :

- Un système efficace de manipulation et de stockage des données.

- Différents opérateurs pour le calcul sur tableaux.
- Un grand nombre d'outils pour l'analyse des données et les méthodes statistiques.
- Des moyens graphiques pour visualiser les analyses.
- Un langage de programmation simple et performant comportant : conditions, boucles, moyens d'entrées sorties, possibilité de définir des fonctions récursives.

Caractéristiques de R

Souplesse : R est aussi un langage de programmation, donc on n'est pas limité par les Procédures préprogrammées par un package. Procédures préprogrammées par un package. Il est relativement facile de programmer de nouvelles méthodes avec R [53].

- R est basé à partir duquel le logiciel S-Plus est dérivé.
- R en lui-même est un logiciel libre (avec code source) et peut être distribué librement.
- Des versions Linux, Macintosh, Windows sont maintenues par plusieurs statisticiens Rassemblés dans le R Développent Core Team.
- R comporte de nombreuses fonctions pour les analyses statistiques et les graphiques ; ceux-ci sont visualisés immédiatement dans une fenêtre propre et peuvent être exportés sous divers formats jpg, png, bmp, ps, pdf, emf, pictex et xfig ; (les formats disponibles peuvent dépendre du système d'exploitation).
- Les résultats des analyses statistiques sont affichés à l'écran, certains résultats partiels (valeurs de P, coefficients de régression, résidus,...) peuvent être sauvés à part, exportés dans un fichier ou utilisés dans des analyses ultérieures.

2.6.2 EasyFit

EasyFit est Logiciel d'ajustage de distributions, il permet d'ajuster automatiquement les distributions aux données échantillon et de sélectionner le meilleur modèle en secondes. Il est conçu de façon à rendre l'analyse des données aussi facile que possible, laissant en coulisse les détails techniques compliqués et nous permettant ainsi de nous concentrer sur les objectifs de nos affaires [52].

Avantages de EasyFit

- Fait gagner du temps : réduit le temps d'analyses de 70-95% par rapport aux méthodes manuelles.
- Fait gagner de l'argent : empêche les erreurs d'analyses et nous aide à prendre de meilleures décisions

- Assure la haute qualité de nos projets.
- Facile à apprendre et utiliser : ne demande que les connaissances de base de la statistique [52].

2.6.3 JMT

JMT (Java Modelling Tools) est un logiciel spécialisé pour la résolution, l'analyse et la modélisation des modèles de réseaux de files. Les modèles peuvent être décrits soit par le biais des boîtes de dialogue de l'assistant ou avec une interface graphique conviviale. Ce logiciel composé de six outils d'évaluation de performances qui sont [51] :

1. **JSIMwiz** : *JSIM* est une interface basée sur un assistant pour le simulateur à événements discrets et pour l'analyse des modèles de réseaux de files d'attente. Le moteur de simulation *JSIM* prend en charge plusieurs distributions de probabilité pour caractériser les services et les inter-arrivées.
2. **JSIMgraph** : est une interface graphique conviviale pour la même moteur de simulateur *JSIM* utilisé par *JSIMwiz*. Il intègre les mêmes fonctionnalités de *JSIMwiz* avec un espace de travail graphique inspirée
3. **JMVA** : est spécialisé pour l'analyse exacte et approximative de classe unique ou des réseaux de files d'attente multi classent (forme-produit), traitement ouvert, fermé ou charges de travail mixtes.
4. **JMCH** : il applique une technique de simulation pour résoudre un modèle de station unique de file d'attente finie ($M / M / 1 / k$), ou infinie ($M / M / 1$), et de plusieurs serveurs avec illimitée ($M / M / C$) ou file d'attente de plusieurs serveurs limité de taille k ($M / M / C / K$). L'animation de la chaîne de Markov sous-jacente est également représentée. Il est possible de modifier dynamiquement le taux d'arrivée, le temps de service et de la taille de la file d'attente du système.
5. **JABA** : spécialisé pour l'identification des passages de lien dans les réseaux fermés multi classent de produit de forme convexe.
6. **JWAT** : spécialisé pour le soutien du processus de caractérisation de la charge de travail. Certains formats standards pour les fichiers d'entrée sont fournis (par exemple, les fichiers HTTP Apache et journal IIS, . . .), formats personnalisés peuvent également être spécifiées. Les données importées peuvent d'abord être analysé à l'aide descriptifs, techniques statistiques (par exemple, moyennes, corrélations, histogrammes, boxplots, nuages de points)

La fenêtre de JMT est présentée dans la figure suivante :

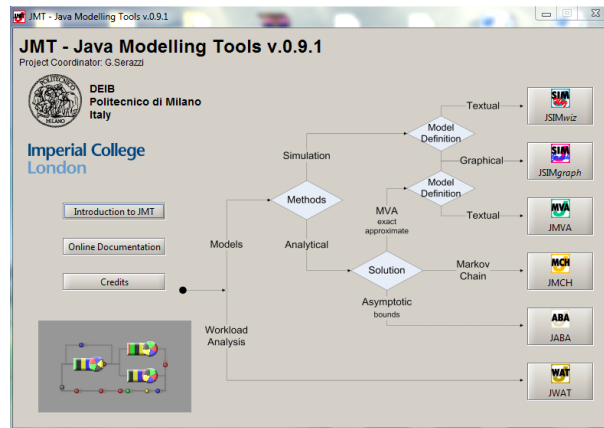


FIGURE 2.8 – La fenêtre principale de JMT

Les informaticiens ont commencé l'utilisation de JMT en 2002 au Politecnico de Milano en tant que projet d'étendre un ensemble d'outils existant pour l'évaluation de performances appelé Windows Outils de modélisation (*WMT*). Initialement, ça été utilisé comme un langage de programmation sous le C^{++} et depuis 2002, tout le code a été converti en Java et le projet a été lancé sous le nom de *JMT* [51].

Chapitre 3

Etude Prévisionnelle

Introduction

L'analyse et l'évaluation de performances d'un système industriel empruntent beaucoup aux statistiques. Pour cela, chaque entreprise doit disposer d'un certain nombre de données qui constituent le retour d'expérience.

3.1 Collecte des données

L'un des problèmes pour lesquels une entreprise devrait prêter attention avant toute planification, est d'abord l'enregistrement fiable et efficace de données, ensuite leurs traitements.

Comme toute autre entreprise, CEVITAL dispose de plusieurs spécialistes ayant le rôle d'enregistrement des données sur les registres, fichiers Excel et d'autres logiciel utiles comme le G-quart. Ceci a facilité l'obtention de la majorité des données nécessaires pour nos calculs. Les données concernant les mouvements d'entrée (production), sortie (vente) et stocks ;

En revanche d'autres données ont été obtenues en prenant 10 jours durant notre stage : les cadences d'arrivées et d'inter-arrivées aux files de conditionnement, de palettisation et de stockage.

3.2 Choix des éléments à étudier

La margarinerie présente une large gamme des produits, et l'étude statistique de chacun d'entre eux se relèvera très longue.

Afin de déterminer et de choisir les éléments phares à étudier, on a effectué une analyse ABC pour chacun des mouvements : vente, production et stock.

Vu l'influence de plusieurs facteurs sur le fonctionnement d'une industrie, la production de la mar-

garine à CEVITAL elle-même varie d'une saison à une autre selon la demande et l'état du marché, afin d'avoir des résultats qui coïncident avec le fonctionnement actuel, L'analyse était basée sur les données cumulées des deux dernières années 2013 et 2014 (Annexe A tableau (A.1), (A.2) et (A.3)).

3.2.1 Classification ABC selon la production

Les résultats de classification selon la production sont représentés dans le tableau(3.1) et la figure(3.1) :

produit \ valeur	quantité	ratio	cumul	classe
Feuilletage 500g	37693	30,73%	30,73%	A 80%
Smen 1.8 Kg	21773	17,75%	48,48%	
Shortening 38/40	18634	15,19%	63,67%	
Fleurial 250g	16297	13,29%	76,95%	
Smen 900g	9456	7,71%	84,66%	B 15%
Smen 500g	6160	5,02%	89,68%	
Matina 400g	5008	4,08%	93,77%	
Fleurial 500g	3464	2,82%	96,59%	C 5%
Beurre 5kg	2709	2,21%	98,80%	
Feuilletage 5Kg	718	0,59%	99,38%	
Graisse mélange de Palme Tourn	678	0,55%	99,93%	
Graisse palm	47	0,04%	99,97%	
Beurre Feuilletage 500g	32	0,03%	100,00%	
Shortening 38/40 Hard	0	0,00%	100,00%	
Shortening 31/33	0	0,00%	100,00%	
Total général	122669	100%	100%	-

TABLE 3.1 – Classification ABC production

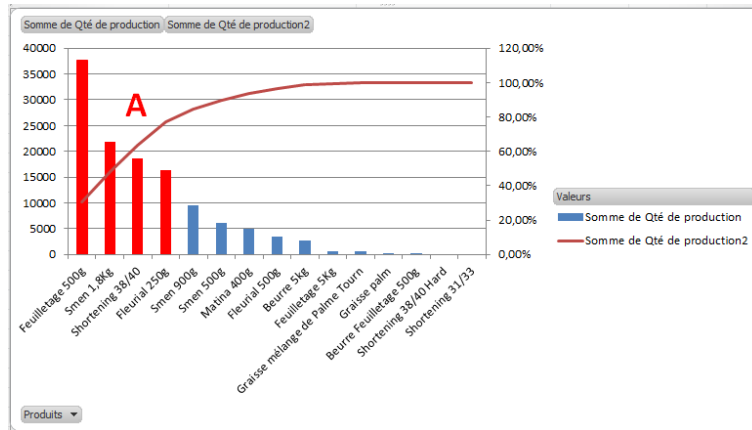


FIGURE 3.1 – Diagramme de Pareto des productions

3.2.2 Classification ABC selon les ventes

Les résultats de classification selon les ventes sont représentés dans le tableau(3.2) et la figure(3.2) :

produit \ valeur	quantité	ratio	cumul	classe
Feuilletage 500g	25766,5	0,3582	35,82%	A 80%
Smen 1,8Kg	13140,922	0,183	54,09%	
Shortening 38/40	12305,63	0,173	71,19%	
Fleurial 250g	8659,56	0,13	83,23%	B 15%
Smen 900g	4835,93	0,068	89,95%	
Smen 500g	2873,3	0,04	93,95%	
Matina 400g	9788,77	0,038	97,82%	C 5%
Beurre 5Kg	915,06	0,012	99,10%	
Fleurial 500g	505	0,0070	99,80%	
Feuilletage 5Kg	118	0,0016	99,96%	
Graisse mélange de Palme Tourn	16	0,00023	99,99%	
Shortening 38/40 Hard	10,54	0,00014	100,00%	
Beurre Feuilletage 500g	0	0,00	100,00%	
Graisse palm	0	0,00	100,00%	
Shortening 31/33	0	0,00	100,00%	
Total général	71935,2114	1	100%	-

TABLE 3.2 – Classification ABC vente

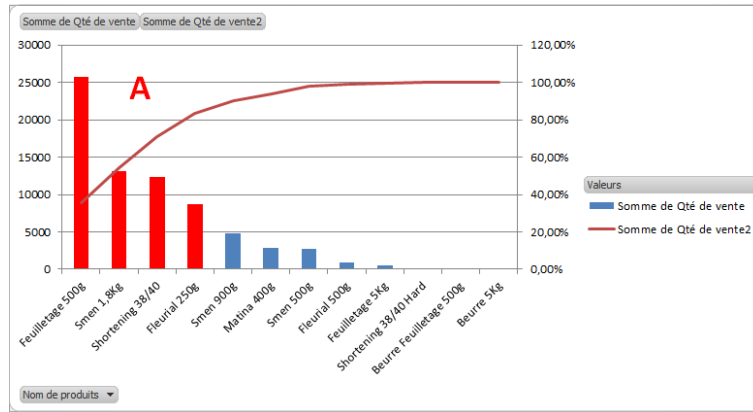


FIGURE 3.2 – Diagramme de Pareto des ventes

3.2.3 Classification ABC selon le stock

Les résultats de classification selon le stock sont représentés dans le tableau(3.3) et la figure(3.3) :

produit \ valeur	quantité	ratio	cumul	classe
Smen 1,8 kg	123392	18,04%	18,04%	A 80%
Feuilletage 500g	123073	17,99%	36,03%	
Shortening 38/40	108526	15,86%	51,89%	
Smen 900g	89164	13,04%	64,93%	
Fleurial 250g	67810	9,95%	74,84%	
Matina 400g	66390	9,7%	84,54%	
Smen 500g	62193	9,1%	93,64%	B 15%
Fleurial 500g	41757	6,1%	99,74%	
Beurre feuilletage 500g	1068	0,16%	99,90%	C 5%
Graiss palm	490	0,07%	99,97%	
Fleurial 5Kg	173	0,03%	99,99%	
Graiss melange de palm	51,72	0,01%	100,00%	
Total général	684087,72	100,00%	100,00%	-

TABLE 3.3 – Classification ABC stock

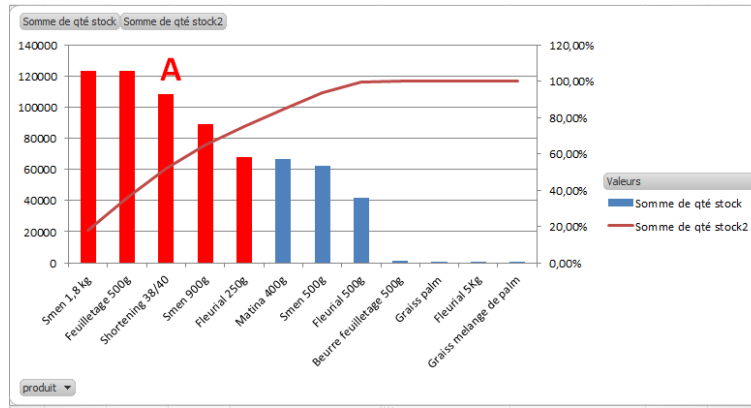


FIGURE 3.3 – Diagramme de Pareto des stocks

3.2.4 Interprétation des résultats

D’après les Diagrammes de Pareto, on remarque la répétition des trois produits : **feuilletage 500g**, **Shortening 38/40**, et **Smen 1,8 kg**, comme produits phares. Alors, l’étude prévisionnelle se fera juste pour ces trois produits.

3.3 Calcul des prévisions

Afin de prévoir l’évolution de la production, vente, et stock de ces derniers produits, on effectue une étude prévisionnelle en utilisant les deux méthodes : Box et Jenkins et lissage exponentielle ; puis faire une comparaison entre les deux résultats et les données réelles afin de déterminer le modèle le plus approprié.

3.3.1 Prévision de production

1.4.1.1. Feuilletage 500g

Les données disponibles de la production de Feuilletage 500g sont représentées dans le tableau(3.4) :

feuilletage 500g	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
2009	740	1004	1384	1754	1529	1516	1596	818	1152	965	1090	1624
2010	787	1908	690	2464	715	1598	1332	770	986	1611	1273	1252
2011	293	1803	1274	1337	1079	1081	879	1239	870	1377	1427	1176
2012	1506	1548	1303	1818	1207	1566	885	949	924	1352	1175	1883
2013	1490	1698	1711	1496	1430	1468	484	1533	1066	1291	1532	2028
2014	2171	1964	2267	1735	1740	1162	747	1296	1720	1668	2066	1930

TABLE 3.4 – Production Feuilletage 500g 2009/2014

Les données sur lesquelles nous allons travailler sont des données mensuelles, s'étalant sur la période de 6 ans ; Les données ont été recueillies sur 72 mois, de Janvier 2009 à Décembre 2014, au cours de cette période la production de Feuilletage a nettement évolué, ce qui confirme l'existence d'une tendance linéaire.

Les fluctuations de la production de Feuilletage qui se répète clairement à des intervalles réguliers se présentent chaque année comme suit :

une augmentation de la production tout au long de la période Janvier-Juin, une diminution claire au mois Juillet, une augmentation à nouveau à partir de ce mois ; et d'autres fluctuations qu'on détectera peut être après la décomposition de la série et l'analyse de son graphe ; tout ça nous suggère l'existence d'une saisonnalité.

1.4.1.1.1. Application de la méthode du lissage exponentiel

Les graphiques ci dessous permettent de mieux voir comment se comporte la série sur la période considérée.

Afin d'importer les données depuis Excel et les analyser sous R, on a enregistré ces données sous forme d'un fichier texte sous le nom : production-feuilletage.txt ; puis on a utilisé les commandes suivantes :

```
> donne = read.table("production - feuilletage.txt", h = T)
> attach(donne)
> names(donne)
> s = ts(q, start = c(2009, 1), end = c(2014, 12), frequency = 12)
> plot(s)
```

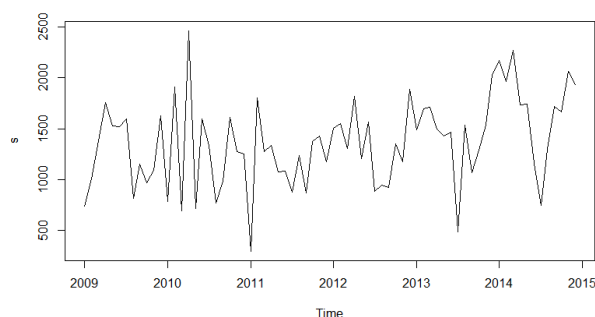


FIGURE 3.4 – Graphe de la série originale production-Feuilletage

Le graphe de la série originale (Figure 1.4), nous montre que celle-ci comporte une tendance croissante et une composante saisonnière. pour illustrer cela, nous allons décomposer notre série originale

en ses différentes composantes. Pour ce faire nous utilisons les commandes suivantes :

```
> deco = decompose(s, type = c("additive", "multiplicative"), filter = NULL)
> plot(deco)
```

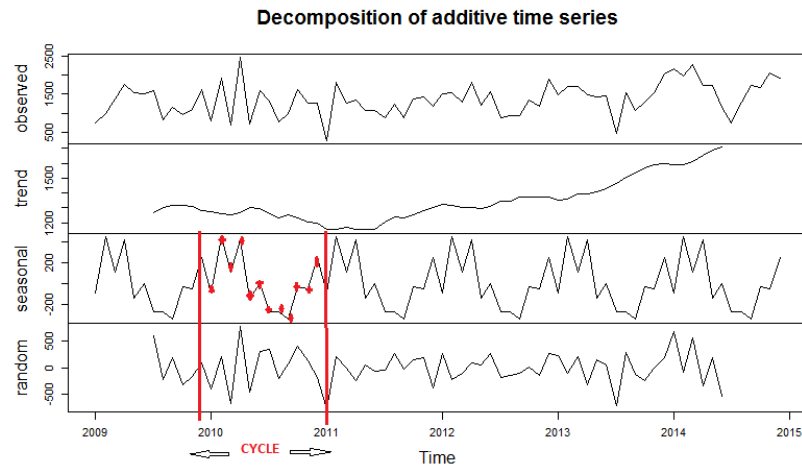


FIGURE 3.5 – Graphe de la série originale Feuilletage500g et ses différentes composantes

Dans les modèles avec saisonnalité, N dénote la longueur du cycle (en nombre de périodes). Dans la figure (3.15) , 12 données sont disponibles à chaque cycle, c'est-à-dire que le cycle se répète toute les 12 périodes, la longueur du cycle est donc $N = 12$. Ainsi, le nombre de multiplicateurs saisonniers dépend de la longueur du cycle. Ainsi, pour un cycle de $N = 12$ périodes, on aura 12 multiplicateurs : $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{12}$.

Nous confirmons que notre série comporte une composante saisonnière et une tendance ; Le modèle de lissage exponentiel adéquat est alors celui de Holt Winters

L'aspect graphique de la série ne montre pas clairement si la courbe est entonnoir ou pas, afin de choisir le meilleur modèle adéquat à noter : Holt-Winters Multiplicatif ou additif ; on les utilise les deux et on compare leurs Résidus.

Le choix du meilleur modèle se base sur le comportement des résidus. Donc, celui qui a la plus petite moyenne des erreurs est le bon.

A. La commande qui permet d'effectuer le lissage de Winters additif est :

```
> lisse = HoltWinters(s, seasonal = "add")
> lisse
```

Cette commande affiche les résultats suivants :

Les valeurs des constantes de lissage α , β et γ qui minimisent le SSE¹ (formule 3.1) :

$$\Phi(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{t=1}^{T-1} (Y_{t+1} - \hat{Y}_T(1))^2. \quad (3.1)$$

$$\alpha = 0.008595626$$

$$\beta = 1$$

$$\gamma = 0.7646614$$

Les coefficients saisonniers sont :

Coef	Val
\hat{S}_1	624.08802
\hat{S}_2	507.32055
\hat{S}_3	701.93537
\hat{S}_4	264.99299
\hat{S}_5	202.30179
\hat{S}_6	-232.11440
\hat{S}_7	-773.82181
\hat{S}_8	-175.04964
\hat{S}_9	43.98223
\hat{S}_{10}	51.71309
\hat{S}_{11}	371.78579
\hat{S}_{12}	366.53793

TABLE 3.5 – Les coefficients saisonniers de la série Feuilletage 500g suivant le modèle additif

Pour initialiser la série, on prend les coefficients $\hat{a}_0(1)$ et $\hat{a}_1(1)$ obtenus :

$$\hat{a}_0(1) = 1635.06401$$

$$\hat{a}_1(1) = 20.59091$$

L'erreur de l'ajustement du modèle additif est donné par :

```
> ErreurAddi = s - lisse$fit[, 2]
```

```
> ErreurAddi
```

Le tableau suivant nous résume les moyennes et moyennes quadratiques des résidus ErreurAddi (erreur de l'ajustement) :

1. Sum Square Error-la somme des carrées de l'erreur .

	Moyenne des résidus	moyenne quadratique des résidus globale	moyenne des résidus 2 dernières années	moyenne quadratique des résidus 2 dernières années
Valeurs	77.99151	185001.6	150.2831	3192789.5

TABLE 3.6 – Les résidus du modèle additif

B. La commande qui permet d'effectuer le lissage de Winters multiplicatif est :

`> ylisser = HoltWinters(s, seasonal = c("multiplicative"))`

`> ylisser`

Cette commande affiche les résultats suivants :

Les valeurs des paramètres α , β et γ qui minimisent la somme des carrés de l'erreur(formule 3.2) :

$$\Phi(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{t=1}^{T-1} (Y_{t+1} - \hat{Y}_T(1))^2. \quad (3.2)$$

$$\alpha = 0.003489082$$

$$\beta = 1$$

$$\gamma = 0.7657912$$

Les coefficients saisonniers sont :

Coef	Val
\hat{S}_1	1.2989149
\hat{S}_2	1.2293214
\hat{S}_3	1.3498972
\hat{S}_4	1.0801298
\hat{S}_5	1.0390679
\hat{S}_6	0.7789079
\hat{S}_7	0.4403080
\hat{S}_8	0.8160735
\hat{S}_9	0.9431608
\hat{S}_{10}	0.9551289
\hat{S}_{11}	1.1452058
\hat{S}_{12}	1.1509791

TABLE 3.7 – Les coefficients saisonniers de la serie Feuilletage 500g suivant le modèle multiplicatif

Les coefficients \hat{a} et \hat{b} sont respectivement :

$$\hat{a} = 1740.1900985$$

$$\hat{b} = 17.4530914$$

L'erreur de l'ajustement du modèle additif est donné par :

$$> \text{ErreurMul} = s - \text{ylisse}\$fit[, 2]$$

$$> \text{ErreurMul}$$

Le tableau suivant nous résume les moyennes et moyennes quadratiques des résidus ErreurMul (erreur de l'ajustement) :

	Moyenne des résidus	moyenne quadratique des résidus globale	moyenne des résidus 2 dernières années	moyenne quadratique des résidus 2 dernières années
Valeurs	-19.50263	171383.7	10.38062	167439.7

TABLE 3.8 – Les résidus du modèle multiplicatif

C. comparaison entre les deux modèles :

	Moyenne des résidus	moyenne quadratique des résidus globale	moyenne des résidus 2 dernières années	moyenne quadratique des résidus 2 dernières années
Addi	77.99151	185001.6	150.2831	3192789.5
Mul	-19.50263	171383.7	10.38062	167439.7
comparaison	<i>Addi > Mul</i>	<i>Addi > Mul</i>	<i>Addi > Mul</i>	<i>Addi > Mul</i>

TABLE 3.9 – Comparaison des résidus des deux modèles

On remarque que les moyennes des résidus et moyennes des résidus quadratiques du modèle multiplicatif sont meilleures que celles du modèle additif, est ce dans tout les cas(globalement ou passé proche : 2ans), dans ce cas on prend le modèle multiplicatif On aura alors les prévisions de l'année prochaine comme suit :

Pour représenter la série originale et son ajustement par la méthode de Holt-Winters multiplicatif, nous utilisons la commande suivante :

```
> plot(ylisse, xlab = "01/2009 - 12/2014", ylab = "production feuilletage500g")
```

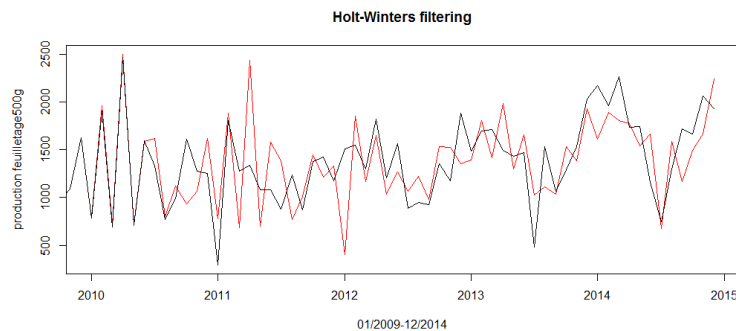


FIGURE 3.6 – Graphe de la série originale Feuilletage et son ajustement

Nous avons un assez bon ajustement, nous pouvons ainsi faire des prévisions, pour ce faire nous utilisons la commande suivante :

```
> prevision_f500g=predict(ylisse, n.ahead = 12)
```

```
> prevision_f500g
```

Le tableau (3.10) représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters multiplicatif pour l'année 2015 :

Mois-2015	janv	févr	mars	avr	mai	juin
Valeurs-prévus	2283.0289	2182.1639	2419.7574	1955.0376	1898.8504	1437.0139
Mois-2015	juil	août	sept	oct	nov	déc
Valeurs-prévus	820.0128	1534.0671	1789.4288	1828.8053	2212.7371	2243.9801

TABLE 3.10 – Prévion de production Feuilletage 500g pour l'année 2015 par LE

Les commandes suivantes nous permet de tracer le graphe représentant l'évolution de la série original ainsi que les prévisions obtenus :

```
> serie_prevision = ts(c(s,prevision_f500g), start = 2009, frequency = 12)
> plot(serie_prevision, xlab = "01/2009 - 12/2015", ylab = "production.feuilletage500g")
> l = lines(prevision_f500g, col = "red")
```

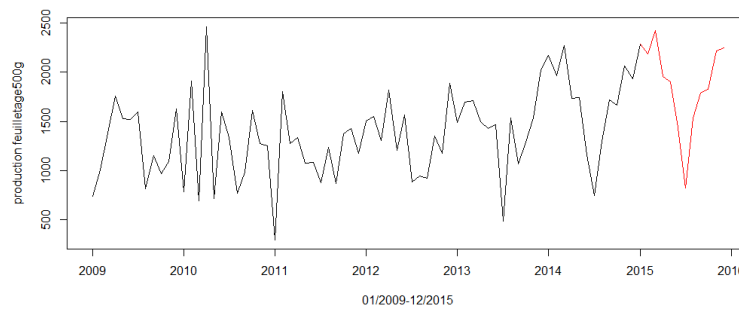


FIGURE 3.7 – Graphe de la série originale Feuilletage et sa prévision

1.4.1.1.2. Application de la méthode de Box et Jinkins

A. Analyse préliminaire

Les commandes qui nous permettent de visualiser respectivement le corrélogramme et le corrélogramme partiel de la série original sont illustrés dans les figures (3.8) et (3.9) respectivement :

```
> acf(s)
> pacf(s)
```

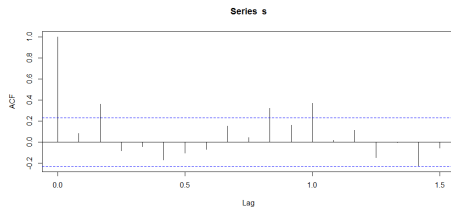



FIGURE 3.8 – Corrélogramme de la série originale Feuilletage

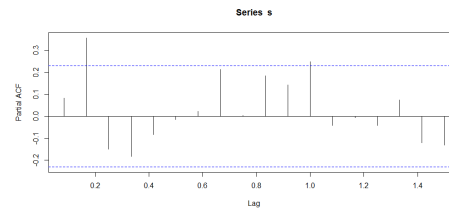


FIGURE 3.9 – Corrélogramme partiel de la série originale Feuilletage

Le graphe (3.4) de la série brute, montre une augmentation de la production qui apparaît clairement sur la période 2012-2014.

Afin de réduire l'hétérogénéité des observations, il sera nécessaire d'appliquer une transformation *Logarithme* pour stabiliser sa variance.

L'examen des deux graphes (3.4) et (3.5) de la série originale de Feuilletage 500g, nous suggèrent l'existence d'une tendance approximativement linéaire. Donc, il sera nécessaire de la différencier en appliquant un filtre différence première $\nabla = 1 - B$ non saisonnier, ainsi qu'une composante saisonnière confirmée vue que le corrélogramme d'autocorrélation montre des pics significatifs correspondant aux retards $k = 12, 24, \dots$ qui signalent bien l'existence de cette composante saisonnière. Donc, une différenciation d'ordre 12 ($\nabla_{12} = 1 - B^{12}$) sera nécessaire pour enlever cette saisonnalité et rendre la série stationnaire. Les commandes qui nous permettent d'obtenir la série chronologique transformée (figure 3.10) sont :

```
>s1 = log(s)
>diffrencier1 = diff(s1)
>diffrencier12 = diff(diffrencier1, frequency = 12)
>plot(diffrencier12)
```

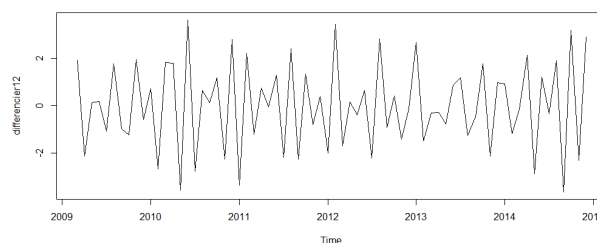


FIGURE 3.10 – Graphe de la série transformée et différenciée de Feuilletage500g

B. Identification du modèle

Les commandes qui nous permettent de visualiser respectivement le corrélogramme(fig 3.11) et le corrélogramme partiel(fig 3.12) de la série transformée sont :

```
> acf(differencier12)
> pacf(differencier12)
```

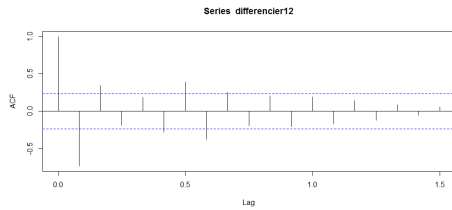


FIGURE 3.11 – Corrélogramme de la série transformée Feuilletage

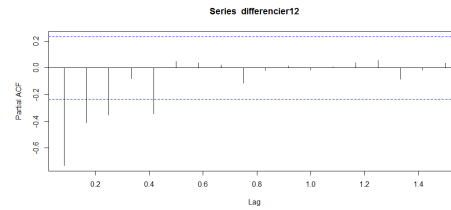


FIGURE 3.12 – Corrélogramme partiel de la série transformée Feuilletage

On observe que l'ACF dans la figure (3.11) est en dehors de l'intervalle de confiance à 95% pour les retards 1,2,9,10,11 et 12. Ceci nous porte à supposer que le modèle devra comporter une partie MA(2) non saisonnière et une partie MA(1) saisonnière, de période 12. Quant à la fonction d'autocorrélation partielle dans la figure (3.12), les valeurs sont en dehors de l'intervalle de confiance à 95% pour les retards 1, 2 et 3. Donc, on peut penser que le modèle comportera également une partie AR(3) non saisonnière.

Après avoir testé différents modèles, nous avons opté pour le modèle :

$$SARIMA(3, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$$

C. Estimation des paramètres du modèle

Après avoir opté pour le modèle $SARIMA(3, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$, la commande suivante permet d'effectuer l'ajustement de la série et d'obtenir le résultat qui suit :

```
> sarima = arima(s1, order = c(3, 1, 1), seasonal = list(order = c(0, 1, 1), period = 12))
```

Les estimateurs des paramètres du modèle et leurs écarts type, sont :

$$\begin{aligned} \hat{\phi}_1 &= 0.1289, & \hat{\sigma}(\hat{\phi}_1) &= 0.0181, \\ \hat{\phi}_2 &= 0.0680, & \hat{\sigma}(\hat{\phi}_2) &= 0.0188, \\ \hat{\phi}_3 &= 0.1008, & \hat{\sigma}(\hat{\phi}_3) &= 0.0190, \\ \hat{\theta} &= -0.9203, & \hat{\sigma}(\hat{\theta}) &= 0.0684, \\ \hat{\theta}_s &= -0.3302, & \hat{\sigma}(\hat{\theta}_s) &= 0.1403. \end{aligned}$$

Nous remarquons que tous les estimateurs vérifient :

Les conditions de stationnarité : $|\hat{\phi}_i| \leq 1, i = \overline{1, 3}$,

et d'inversibilité : $|\hat{\theta}| \leq 1$ et $|\hat{\theta}_s| \leq 1$.

Le modèle s'écrit :

$$(1 - \hat{\phi}_1 B - \hat{\phi}_2 B^2 - \hat{\phi}_3 B^3)(1 - B)(1 - B^{12})Z_t = (1 - \hat{\theta}B)(1 - \hat{\theta}_s B^{12})\epsilon_t. \quad (3.3)$$

Avec : $Z_t = \log(Y_t)$, Y_t étant la série originale.

Ce qui donne alors :

$$(1 - 0.1289B - 0.0680B^2 - 0.1008B^3)(1 - B)(1 - B^{12})Z_t = (1 + 0.9203B)(1 + 0.3302B^{12})\epsilon_t. \quad (3.4)$$

D. Validation du modèle

D.1. Tests sur les coefficients du modèle

Suivant le Théoreme Central-Limite, la loi de Student converge vers la loi Normale centrée réduite lorsque n est assez grand(Annexe B figure (B.1) et (B.2)) ; En prenant $\alpha = 0.05$, la valeur critique lue sur la table de la loi normal $T(n - k - 1, \frac{\alpha}{2})$ est :

$$T(72 - 5 - 1, 0.025) = T(66, 0.025) = \phi^{-1}(1 - 0, 025) = 1.96.$$

Tel que :

La taille de l'échantillon $n = 72$

Le nombre de paramètres du modèle à estimer $k = 5$

1. Test de $H_0 : \phi_1 = 0$ contre $H_1 : \phi_1 \neq 0$

Ce test est basé sur la statistique : $T = \frac{|\hat{\phi}_1|}{\hat{\sigma}(\hat{\phi}_1)} \rightarrow t(n - 4, \frac{\alpha}{2})$

Sa réalisation : $t_1 = \frac{0.1289}{0.0181} = 7.12 > 1.96$; Alors on rejette l'hypothèse $H_0, \phi_1 = 0$. et par conséquent on accepte l'hypothèse H_1 , donc le paramètre ϕ_1 est significativement différent de zero.

2. Test de $H_0 : \phi_2 = 0$ contre $H_1 : \phi_2 \neq 0$

Ce test est basé sur la statistique : $T = \frac{|\hat{\phi}_2|}{\hat{\sigma}(\hat{\phi}_2)} \rightarrow t(n - 4, \frac{\alpha}{2})$

Sa réalisation : $t_2 = \frac{0.0680}{0.0188} = 3.61 > 1.96$; Alors on rejette l'hypothèse $H_0, \phi_2 = 0$. et par conséquent on accepte l'hypothèse H_1 , donc le paramètre ϕ_2 est significativement différent de zero.

3. Test de $H_0 : \phi_3 = 0$ contre $H_1 : \phi_3 \neq 0$

Ce test est basé sur la statistique : $T = \frac{|\hat{\phi}_3|}{\hat{\sigma}(\hat{\phi}_3)} \rightarrow t(n - 4, \frac{\alpha}{2})$

Sa réalisation : $t_3 = \frac{0.1008}{0.0190} = 5.30 > 1.96$; Alors on rejette l'hypothèse H_0 , " $\phi_3 = 0$ ".et par conséquent on accepte l'hypothèse H_1 , donc le paramètre ϕ_3 est significativement différent de zero.

4. **Test de** $H_0 : \theta = 0$ contre $H_1 : \theta \neq 0$

Ce test est basé sur la statistique : $T = \frac{|\hat{\theta}|}{\hat{\sigma}(\hat{\theta})} \rightarrow t(n - 4, \frac{\alpha}{2})$

Sa réalisation : $t_4 = \frac{0.9203}{0.0684} = 13.45 > 1.96$; Alors on rejette l'hypothèse H_0 , " $\theta = 0$ ".et par conséquent on accepte l'hypothèse H_1 , donc le paramètre θ est significativement différent de zero.

5. **Test de** $H_0 : \theta_s = 0$ contre $H_1 : \theta_s \neq 0$

Ce test est basé sur la statistique : $T = \frac{|\hat{\theta}_s|}{\hat{\sigma}(\hat{\theta}_s)} \rightarrow t(n - 4, \frac{\alpha}{2})$

Sa réalisation : $t_5 = \frac{0.3302}{0.1403} = 2.35 > 1.96$; Alors on rejette l'hypothèse H_0 , " $\theta_s = 0$ ".et par conséquent on accepte l'hypothèse H_1 , donc le paramètre θ_s est significativement différent de zero.

D.2. Examen des résidus

Ce test est basé sur la statistique (3.5) :

$$Q = n(n + 2) \sum_{i=1}^M \frac{\rho_i^2}{n - i} \rightarrow \chi^2_{M-k} \quad (3.5)$$

Test $H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = 0$, $i = \overline{1, M}$ contre $H_1 : \exists i \in 1, \dots, M$ tq $\rho_i \neq 0$.

où :

ρ_i : désignent les coefficients d'autocorrélations théoriques.

M : est la partie entière de $\min(\frac{n}{2}, 3\sqrt{n})$, donc M=25 avec n=72.

Les commandes suivantes nous donne la valeur empirique de la statistique de Box et Ljung :

```
> residu = residuals(sarima)
> residu1 = ts(residu, start = 2009, frequency = 12)
> Box.test(residu1, lag = 20, type = "Ljung")
```

La statistique calculée des résidus est :

$$\chi^{2*} = 15.2361.$$

Au niveau de signification $\alpha = 0.05$ la valeur critique lue sur la table de *Khi - deux* est :

$$\chi^2_{M-k}(\alpha) = \chi^2_{25-5}(0.05) = \chi^2_{20}(0.05) = 31.4104.$$

Comme $\chi^{2*} = 15.2361 < \chi^2_{20}(0.05) = 31.4104$, alors on accepte l'hypothèse H_0 de nullité des 25 premiers coefficients de corrélation des résidus. Par conséquent les résidus forment un bruit blanc, le corrélogramme et le corrélogramme partiel des résidus dans les figures (3.13) et (3.14) nous montrent clairement que tous les pics sont à l'intérieur de l'enveloppe.

```
>acf(residu1)
>pacf(residu1)
```

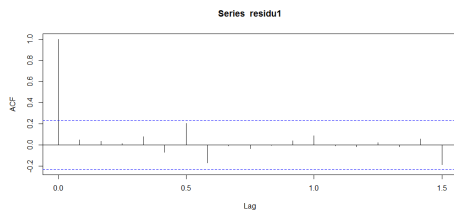


FIGURE 3.13 – Corrélogramme des résidus Feuilletage

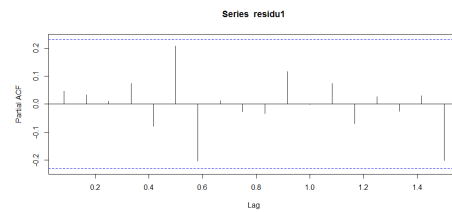


FIGURE 3.14 – Corrélogramme partiel des résidus Feuilletage

E. Calcul des Prévisions

La commande qui nous permet d'obtenir les prévisions est :

```
> previsionf = predict(sarima, 12)
> previsionf
```

Après avoir calculé les prévisions, on effectue une transformation exponentielle pour trouver les valeurs des prévisions de la série originale Y_t , ainsi les prévisions de Feuilletage 500g pour l'année 2015, suivant le modèle $SARIMA(3, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ sont données sur le tableau(3.11) :

Mois-2015	jan	fév	mar	av	mai	juin
pré	2280.39	2056.96	2300.50	1917.21	1853.44	1502.39
Mois-2015	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	952.42	1557.27	1730.53	1793.33	2099.23	2165.00

TABLE 3.11 – Prévision de production Feuilletage 500g pour l'année 2015 par BJ

Afin d'obtenir le graphe (3.15) représentant les prévisions et la série originale, on utilise les commandes suivantes :

```
> serie_prevision = ts(c(s,previsionf), start = 2009, frequency = 12)
> plot(s - serie_prevision, xlab = "01/2009 - 12/2014", ylab = "productionfeuilletage500g")
> l = lines(previsionf, color = "red")
```



FIGURE 3.15 – Graphe de la série F500g originale et sa prévision

1.4.1.1.3. Interprétation des résultats obtenus par les deux méthodes

En présence de données réelles, la qualité des prévisions se vérifie en comparant ces dernières avec la réalité, pour voir si elles sont proches.

Dans notre cas, les données réelles sont présentes juste pour les quatre premiers mois (Tab.3.12) :

Méthode	Mois-2015	données prévues	données réelles	Erreur	Erreur relative	EMR
Box et Jinkins	Janvier	2279.74	2206	73	0.032	0.12
	Fevrier	2183.56	1765	418	0.19	
	Mars	2398.77	2198	200	0.083	
	Avril	1982.42	1614	368	0.18	
lissage exponentiel	Janvier	2283.0289	2206	77	0.033	0.19
	Fevrier	2182.1639	1765	417	0.19	
	Mars	2419.7574	2198	221	0.09	
	Avril	1955.0376	1614	341	0.17	

TABLE 3.12 – Comparaison des prévisions de Feuilletage500g avec la réalité

On remarque que les prévisions sont de même ordre que la réalité, et les erreurs relatives le confirme, ainsi que l’erreur relative moyenne des quatres prévisions obtenues avec Box et Jinkins ($EMR = 0.12$), et avec lissage exponentiel ($EMR = 0.19$) .

Il est clair aussi que les valeurs prévues pour le premier mois "janvier", ont la plus petite erreur relative à savoir, 0.032 avec Box et Jinkins et 0.033 avec lissage, ce qui confirme qu’à chaque fois l’horizon de prévision est petit, la prévision soit plus proche de la réalité.

1.4.1.2. Shortening 38/40

Les résultats ci-dessous, sont obtenus en appliquant la méthode de lissage exponentiel Holt Winters additif, et le modèle $SARIMA(2, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ de Box et Jenkins :

Méthode	Mois-2015	données prévues	données réelles	Erreur	Erreur relative	EMR
Box et Jinkins	Janvier	988.89	1279	290	0.29	0.27
	Fevrier	965.67	807	158	0.16	
	Mars	928.14	1255	327	0.35	
	Avril	903.42	620	283	0.31	
lissage exponentiel	Janvier	942.49	1279	337	0.35	0.26
	Fevrier	903.61	807	96	0.10	
	Mars	975.78	1255	280	0.28	
	Avril	907.65	620	287	0.31	

TABLE 3.13 – Comparaison des prévisions de production *Shortening38/40* avec la réalité

Nous remarquons qu'il y'a un écart entre les données prévus et les données réelles. Cet écart est justifié par le fait que nos prévisions sont basées seulement sur les sept dernières années, tandis que les données réelles sont liées à plusieurs facteurs tels que : l'accroissement de la production, l'instabilité du marché national,...

1.4.1.3. Smen 1, 8kg

Les résultats ci-dessous, sont obtenus en appliquant la méthode de lissage exponentiel Holt Winters additif, et le modèle $SARIMA(2, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ de Box et Jenkins :

mois/prévision	jan	fév	mar	av
Lissage exponentiel	603.13	567.83	1190.88	987.70
Box et jinkis	586.73	537.09	1112.26	1042.32
Prévision réelle	549	1015	875	1503

TABLE 3.14 – Comparaison des prévisions de production Smen avec la réalité

On remarque que les prévisions sont de même ordre que la réalité, notamment pour le mois Janvier avec une erreur $EMR = 0.09$.

3.3.2 Prédiction de vente

1.4.2.1. Feuilletage 500g

A. Lissage exponentiel :

Le modèle de prédiction s'écrit sous la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = (937.63488(T) - k41.51860(T)) * \hat{S}_{T+k}.$$

Le tableau suivant représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters multiplicatif pour l'année 2015 :

2015	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	1640.65	1172.50	1137.84	753.23	665.15	287.87	61.50	355.23	451.69	277.19	651.69	664.97

TABLE 3.15 – Prédiction de vente Feuilletage 500g pour l'année 2015 par LE

A. Box et Jenkins :

Le modèle s'écrit :

$$(1 + 0.4923B)(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 + 0.3682B)(1 - 0.9995B^{12})\epsilon_t$$

Les prévisions de Feuilletage 500g pour l'année 2015 sont suivant le modèle $SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ de Box et Jenkins sont comme suit :

2015	jan	fév	mar	av	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	1772.35	1225.89	1170.58	654.31	822.81	8.08	102.10	407.86	213.84	54.25	587.98	542.92

TABLE 3.16 – Prédiction de vente Feuilletage 500g pour l'année 2015 par BJ

1.4.2.2. Shortening 38/40

A. Lissage exponentiel :

Le modèle de prédiction s'écrit sous la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = (941.46227(T) + k27.83098(T)) * \hat{S}_{T+k}.$$

Le tableau suivant représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters multiplicatif pour l'année 2015 :

2015	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	1174.4	1108.3	1392	1259.9	1223.4	886.6	720	835.2	1111.1	1178.07	1114.5	1500.5

TABLE 3.17 – Prévion par lissage de vente Shortening 38/40 pour l'année 2015 par LE

B. Box et Jenkins :

Le modèle s'écrit :

$$(1 - 0.1829B - 0.2567B^2)(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 - 0.2689B)(1 - 0.1663B^{12})\epsilon_t$$

Les prévisions de vente shortening 38/40 pour l'année 2015 obtenus suivant le modèle $SARIMA(2, 1, 1)(0, 1, 1)$ de Box et Jenkins sont les suivantes :

2015	jan	fév	mar	av	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	1161.03	1026.8	1149.6	1161.3	905.69	662.1	494.5	752.7	904.7	973.8	887.7	1162.06

TABLE 3.18 – Prévion de vente Shortening 38/40 pour l'année 2015 par BJ

1.4.2.3. Smen 1,8kg**A. Lissage exponentiel :**

Le modèle de prévision s'écrit sous la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = 437.51416(T) - k23.74617(T) + \hat{S}_{T+k}.$$

Le tableau suivant représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters additive pour l'année 2015 :

2015	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	322.46	331.63	614.81	115.39	308.20	452.33	1024.49	264.76	81.01	175.578	69.29	104.24

TABLE 3.19 – Prévion de vente Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par LE

B. Box et Jenkins :

Le modèle s'écrit :

$$(1 + 0.6603B)(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 - 0.9965B)(1 + 0.3150B^{12})\epsilon_t$$

Les prévisions de Smen 1.8Kg pour l'année 2015 suivant le modèle $SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ sont les suivantes :

2015	jan	fév	mar	av	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
prév	318.98	309.36	553.42	411.18	588.57	372.27	1231.90	250.73	151.88	241.459	98.19	64.04

TABLE 3.20 – Prévion de vente Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par BJ

1.4.2.4. Interprétation des résultat (prévion vente) :

En comparant les résultats obtenus avec les données réelles présentées dans le tableau A.3 (Annexe A), on a remarqué que les prévisions sont de même ordre que la réalité sauf pour certaines mois, ce qui est justifié par l'influence des facteurs perturbateurs comme la demande perdue, l'instabilité du marché et les promotions spéciales,...

3.3.3 Prévion stock

1.4.3.1. Smen 1,8kg

A. Lissage exponentiel :

Le modèle de prévion s'écrit sous la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = 4104.33061(T) - k256.65220(T) + \hat{S}_{T+k}.$$

Le tableau suivant représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters additive pour l'année 2015 :

2015	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	2675.2	3222.8	4015.3	3030.2	5242.9	5468.5	830.7	952.4	1133.2	1250.7	2785.08	499.8

TABLE 3.21 – Prévion de stock Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par LE

B. Box et Jenkins :

Le modèle s'écrit :

$$(1 - 0.0212_1B - 0.2009B^2)(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 - 0.4529B)(1 - 0.309B^{12})\epsilon_t$$

Les prévisions de Smen 1.8Kg pour l'année 2015 suivant le modèle $SARIMA(2, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ sont les suivante :

2015	jan	fév	mar	av	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	1273.9	1635.4	3341.2	2270.2	4816.3	5696.2	305.1	637.4	1953	243.9	525.59	218.24

TABLE 3.22 – Prévion de stock Smen 1.8Kg pour l'année 2015 par BJ

1.4.3.2. Feuilletage 500g

A. Lissage exponentiel :

Le modèle de prévision s'écrit sous la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = 10010.63681(T) + k56.72101(T) + \hat{S}_{T+k}.$$

Le tableau suivant représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters additive pour l'année 2015 :

2015	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	7102	11877.6	13084	10966	12047.2	10174.1	12472	11593.7	12878.9	9019	6606.7	6798.2

TABLE 3.23 – Prévision de stock Feuilletage 500g pour l'année 2015 par LE

B. Box et Jenkins :

Le modèle s'écrit :

$$(1 - 0.2963B - 0.1228B^2)(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 - 0.3958B)(1 - 0.36375B^{12})\epsilon_t.$$

Les prévisions de Feuilletage 500g pour l'année 2015 suivant $SARIMA(2, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$ sont les suivantes :

2015	jan	fév	mar	av	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
prév	5467	15098.1	16100.1	13055	14175	8316.6	9329	8118.8	6879.7	11033.4	8424	12986.5

TABLE 3.24 – Prévision de stock Feuilletage 500g pour l'année 2015 par BJ

1.4.3.3. Shortening 38/40

A. Lissage exponentiel :

Le modèle de prévision s'écrit sous la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = 4129.49466(T) - k554.0754(T) + \hat{S}_{T+k}.$$

Le tableau suivant représente les prévisions obtenus par la méthode de Holt Winters additive pour l'année 2015 :

2015	jan	fév	mar	av	mai	jui	juil	août	sept	oct	nov	déc
pré	6439.8	3896.5	4640.5	4211.1	4664	4221.1	508.9	942.9	1800.1	7088.7067	2320.3	4266.2

TABLE 3.25 – Prévision de stock Shortening 38/40 pour l'année 2015 par LE

B. Box et Jenkins :

Le modèle s'écrit :

$$(1 - 0.4259B + 0.3472B^2)(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = (1 + 0.9999B)(1 - 0.8563B^{12})\epsilon_t.$$

Les prévisions de Shortening 38/40 pour l'année 2015 suivant le modèle $SARIMA(2, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$:

2015	jan	fév	mar	av	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
prév	5876.4	3300.7	3051.9	3432.2	2747.6	3905.4	3028.2	3770.5	3555.6	1867.1	3790.9	2588.4

TABLE 3.26 – Prévision de stock Shortening 38/40 pour l'année 2015 par BJ

1.4.3.4. Interprétation des résultat (prévision stock) :

Concernant les stocks, nous n'avons pas les données réelles de cette entreprise, et d'après nos renseignements les données de stock ont été mal enregistrés, et vu la difficulté et le manque de temps pour y avoir d'autres, on a été obligé de les utiliser ; Pour cela, en comparant les résultats obtenus avec les données réelles du tableau A.2 (Annexe A), on pourra dire que ces prévisions sont différentes de leurs données réelles.

D'autre facteurs interviennent aussi, puisque les prévisions calculées sont basées seulement sur l'historique(les deux dernières années), notamment : l'accroissement de la production, l'instabilité du marché national, l'information perdue sur les demandes,..., peuvent ainsi influencer.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'évolution de production, vente et stock ; en réalisant une analyse statistique pour les produits phares (Feuilletage 500g, Shortening 38/40 et Smen 1.8Kg) classés avec la méthode ABC.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les mouvements entrées-sorties au niveau de l'unité margarinerie est en évolution continue avec le temps :

- Les prévisions établies sur la production de Feuilletage 500g, sont en moyenne 2034.25 à l'horizon 2015 contre 1705.5 en 2014. Soit une augmentation de 10%.
- Quant à la demande sur Feuilletage 500g, on prévoit également une croissance de 32% pour l'année 2015.

Ce qui engendre plus de ressources et matériels, en particulier de l'espace de stockage au niveau de la chambre froide, dont on doit faire face ; ce qui est le but de cette étude.

Chapitre 4

Modélisation et évaluation des performances

Introduction

Ce chapitre est consacré dans un premier temps, à la construction du modèle mathématique des mouvements (production, palettisation, stockage et vente) des produits, au niveau de la margarinerie CEVITAL FOOD Béjaia, en utilisant les réseaux de files d'attente.

Nous passons par la suite à la présentation des calculs analytiques des performances du système (temps moyen de séjour dans le stock, nombre moyen de clients dans le système,...), ainsi que l'analyse de ces derniers sur le simulateur choisi. Le principe était de varier les paramètres que sont la fréquence d'arrivée des palettes et le taux de service (séjour dans la chambre froide), afin d'étudier le comportement du système.

4.1 Modélisation analytique du système

La méthode analytique que l'on développera dans cette étude est basée sur les réseaux de files d'attente. En effet, la margarinerie est un système que l'on peut généralement représenter par un ensemble de clients (produit, carton ou palette) qui sont demandeurs d'un service (mise en carton, palettisation ou stockage). Les serveurs (encartonneuses, palettiseurs ou chambre froide) permettent de répondre à cette demande étant en nombre limité, les clients (demandeurs) vont devoir attendre la libération d'un serveur, ce qui provoque des attentes devant ces serveurs. Par conséquent il apparaît naturel de modéliser notre système par un réseau de files d'attente. (voir la figure 4.1)

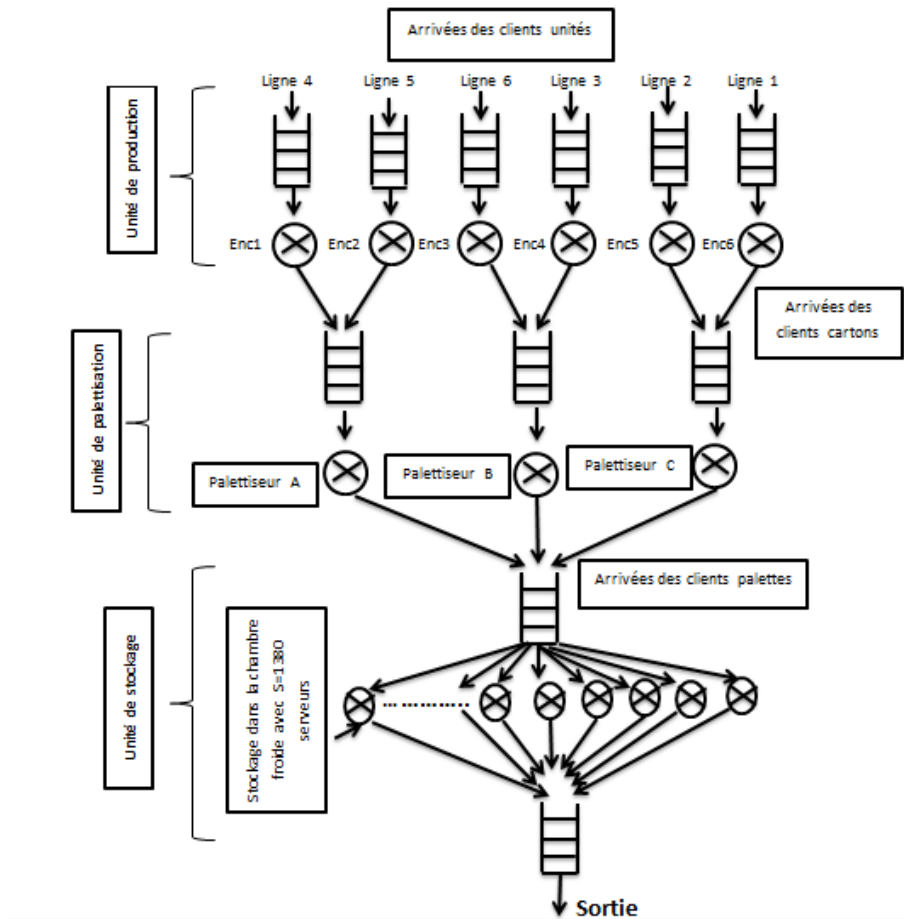


FIGURE 4.1 – Mouvements des produits dans la margarinerie

4.1.1 Description des principaux mouvements de l'unité margarinerie

4.1.1.1. Production

C'est l'étage où s'effectue la production de tous les types de margarine. Cet étage contient six lignes de production, où chaque ligne est spécialisée pour la production d'un type donné.

Plusieurs processus sont effectués dans cet étage : production, conditionnement et mise en carton, dont on s'intéresse juste au processus de mise en cartons puisque les autres opérations n'influencent pas vraiment sur le système.

Nous considérons que ce mouvement est un ensemble des systèmes de file d'attente, où les clients sont les produits finis conditionnés, les files sont les lignes de production, dont les clients sont repartis comme suit :

- **Ligne 1** : Margarine de table en barquettes,
- **Ligne 2** : Margarine de table en plaquettes,
- **Ligne 3** : Margarine de feuilletage,
- **Ligne 4** : Shortening,

- **Ligne 5** : Smen,
- **Ligne 6** : Commande spéciale (Beurre,..).

Ainsi, le service est la mise en carton, dont le serveur (encartonneuses) de chaque ligne regroupe un nombre défini de produits dans un carton. On aura donc 6 sous systèmes de file d'attente dans ce mouvement qu'on résume dans ce schéma :

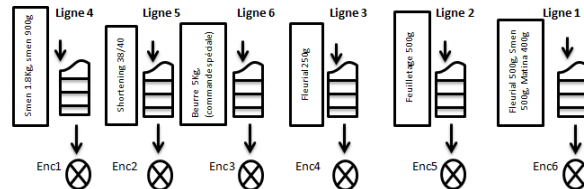


FIGURE 4.2 – Processus de mise en carton

Ce processus est réalisé dans 6 systèmes indépendants, à savoir, 6 files d'attente et 6 encartonneuses :

- premier système :
La file : ligne 4 de production, les clients : Smen 1,8Kg et Smen 900g, le serveur : l'encartonneuse 1 (E1). La file : ligne 5 de production, les clients : Shortening et les graisses, le serveur : l'encartonneuse 1 (E1).
- deuxième système :
La file : ligne 5 de production, les clients : Shortening et les graisses, le serveur : l'encartonneuse 2 (E2).
- troisième système :
La file : ligne 6 de production, les clients : Commandes spéciales (Beurre 5Kg), le serveur : l'encartonneuse 3 (E3).
- quatrième système :
La file : ligne 3 de production, les clients : Fleurial 250g, le serveur : l'encartonneuse 4 (E4).
- cinquième système :
La file : ligne 2 de production, les clients : Feuilletage 500g, le serveur : l'encartonneuse 5 (E5).
- sixième système :
La file : ligne 1 de production, les clients : Fleurial 500g, Smen 500g et Matina 400g, le serveur : l'encartonneuse 6 (E6).

4.1.1.2. Palettisation

Une seule opération se déroule à ce niveau, étant la palettisation. On peut considérer ainsi ce mouvement comme un système de file d'attente, dont les clients sont des cartons et le service étant la palettisation des cartons, où le serveur (palettiseur), regroupe un ensemble de cartons pour former une palette.

Les cartons sortants du premier mouvement (mise en carton) passent donc aux systèmes de palettisation, dont chaque deux types de cartons passent à la même file d'attente et seront servi par le même serveur (figure 5.3).

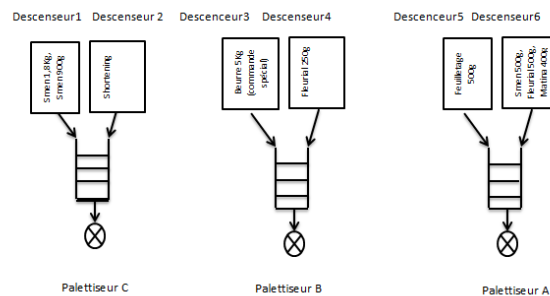


FIGURE 4.3 – Processus du mouvement de palettisation

Il existe donc trois systèmes indépendants représentés comme suit :

- Premier système :
Client : Cartons reçus de la ligne 1 (par le descenseur 6) et ligne 2 (par le descenseur 5), serveur : palettiseur A.
- Deuxième système :
Client : Cartons reçus de la ligne 3 (par le descenseur 4) et ligne 6 (par le descenseur 3), serveur : palettiseur B.
- Troisième système :
Client : Cartons reçus de la ligne 4 (par le descenseur 1) et ligne 5 (par le descenseur 2), serveur : palettiseur C.

4.1.1.3. Stockage

Les palettes sortantes de la paletterie passent directement à la chambre froide pour être stockées et rangées pour une durée qui varie d'un produit à un autre.

Nous considérons ce mouvement comme étant un système de file d'attente à une seule file et S serveurs (1380), où les clients sont des palettes, le service étant l'entreposage (stockage) des palettes, dont un serveur (une cellule de stockage) peut contenir une seule palette, et le client est affecté à un serveur

selon des critères, à savoir : sensibilité au froid, homogénéité des rayons,... (Figure 5.4).

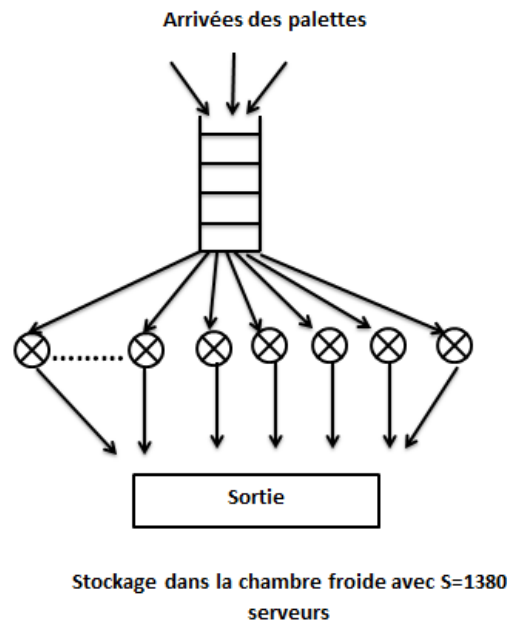


FIGURE 4.4 – Processus du mouvement de stockage

4.1.2 Identification des lois des flots d’arrivées et durées de service

4.1.2.1. Recueil de données

Les données utilisées pour identifier les lois d’arrivées ou bien des services pour les différents mouvements, production, palettisation et stockage, ont été obtenues de la manière suivante :

- Concernant le flot des arrivées et le service dans les systèmes production et palettisation, nous avons chronométré le nombre des arrivées des pots dans le mouvement de production, la durée de service des encarteneuses, la durée de service des palettiseurs et le temps des inter-arrivées des palettes à la chambre froide, sur une période de dix jours.
- Les données que nous avons utilisé pour calculer la durée de séjour des palettes dans la chambre froide, nous ont été fournies par la direction expédition corps gras et elles s’étalent sur une période d’une année, soit de janvier 2014 jusqu’à décembre 2014.

Cette durée est calculée à partir de la formule suivante :

$$T = T_s - T_e$$

où :

- T_e date d’entrée du produit i à la chambre froide.
- T_s date de sortie du produit i à la chambre froide.

L'identification de la loi d'un échantillon donné avec le R s'avère difficile, puisque, suivant un test donné on peut accepter plusieurs lois à la fois, et le choix de la loi appropriée s'avère ainsi difficile. Pour cela nous avons utilisé un logiciel des statistiques qui utilise plusieurs tests et critères et classe les lois acceptées pour l'échantillon selon des critères données, ce qui facilite ainsi le choix de la loi. De cette manière, en utilisant EASYFIT 4.0, un logiciel statistique et le "Input Analyzer", on va soumettre les données d'entrées aux tests d'hypothèse pour tester si un groupe de données peut être modélisé par une loi de distribution avec un certain niveau de confiance. On utilise les tests d'hypothèses connus comme Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling et Chi-deux,...

Les histogrammes des distributions de probabilité des données ajustées ont été représentées dans l'Annexe D.

4.1.2.2. Identifications de différentes lois du processus mise en carton

1. Lois du flot des arrivées

Soit :

- X_1 : variable aléatoire représentant le nombre de produits arrivés à la ligne 1.
- X_2 : variable aléatoire représentant le nombre de produits arrivés à la ligne 2.
- X_3 : variable aléatoire représentant le nombre de produits arrivés à la ligne 6.
- X_4 : variable aléatoire représentant le nombre de produits arrivés à la ligne 3.
- X_5 : variable aléatoire représentant le nombre de produits arrivés à la ligne 4.
- X_6 : variable aléatoire représentant le nombre de produits arrivés à la ligne 5.

Variable	Lois	K-S calc	K-S théo	T Ech	λ	α
X_1	Poisson	0,10988	0,20056	44	0,1164	0,05
X_2	Poisson	2,7982	7,8147	44	0,2913	0,05
X_3	Poisson	3,3702	7,8147	44	0,3211	0,05
X_4	Poisson	2,085	2,5018	44	0,275	0,05
X_5	Poisson	0,19748	0,20056	44	0,22	0,05
X_6	Poisson	0,19837	0,20056	44	0,221	0,05

TABLE 4.1 – Ajustement de la loi des arrivées des produits dans le mouvement production

Interprétation des résultats

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement des variable $X_i, i = \overline{1,6}$ par une loi de Poisson, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée¹ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

1. $d_{44,0,05}$, voir Annexe B

En résumé, d’après ces résultats, on constate que :

Le taux d’arrivée est de 0,1164 produits par minute ce qui est signifie 1 arrivé chaque 10 minutes.

Dans la ligne 1, 0,2913 dans la ligne 2, 0,3211 dans la ligne 6, 0,275 dans la ligne 3, 0,22 dans la ligne 4 et 0,221 dans la ligne 5.

2. Lois de la durée de service des encartonneuses

Soit :

Y_1 la variable aléatoire représentant la durée de service en minute de l’encarteneuse 6.

Y_2 la variable aléatoire représentant la durée de service en minute de l’encarteneuse 5.

Y_3 la variable aléatoire représentant la durée de service en minute de l’encarteneuse 3.

Y_4 la variable aléatoire représentant la durée de service en minute de l’encarteneuse 4.

Y_5 la variable aléatoire représentant la durée de service en minute de l’encarteneuse 1.

Y_6 la variable aléatoire représentant la durée de service en minute de l’encarteneuse 2.

Variable	Lois	K-S calc	K-S théo	T Ech	μ	α
Y_1	Expo	0,12764	0,18841	50	0,3254	0,05
Y_2	Expo	0,08278	0,18841	50	0,5614	0,05
Y_3	Expo	0,13774	0,18841	50	0,419	0,05
Y_4	Expo	0,09911	0,18841	50	0,4482	0,05
Y_5	Expo	0,06557	0,18841	50	0,4591	0,05
Y_6	Expo	0,07695	0,18841	50	0,276	0,05

TABLE 4.2 – Ajustement des lois de service des encartonneuses dans le mouvement production

Interprétation des résultats

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l’ajustement des variable $Y_i, i = \overline{1,6}$ par une loi de exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée² qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

En résumé, d’après ces résultats on constate que :

La durée moyenne de service d’un produit est de 3 minutes dans E6, 2 minutes dans E5, 2.5 minutes dans E3, 2.2 minutes dans E4, 2.17 minutes dans E1 et 3.60 minutes dans E2.

2. $d_{50,0.05}$, voir Annexe B

4.1.2.3. Identifications de différentes lois du processus de palettisation

1. Loi des inter-arrivées des cartons aux palettiseurs

Soit :

$Z_{a,1}$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives des cartons de type 1 (client 1, descenseur 5), en minute au palettiseur A.

$Z_{a,2}$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives des cartons de type 2 (client 2, descenseur 6), en minute au palettiseur A.

$Z_{b,1}$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives des cartons de type 3 (client 3, descenseur 3), en minute au palettiseur B.

$Z_{b,2}$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives des cartons de type 4 (client 4, descenseur 4), en minute au palettiseur B.

$Z_{c,1}$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives des cartons de type 5 (client 5, descenseur 1), en minute au palettiseur C.

$Z_{c,2}$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives des cartons de type 6 (client 6 : descenseur 2), en minute au palettiseur C.

Variable	Lois	K-S calc	K-S théo	T Ech	λ	α
$Z_{a,1}$	Expo	0,08278	0,18841	50	0,5614	0,05
$Z_{a,2}$	Expo	0,12764	0,18841	50	0,3254	0,05
$Z_{b,1}$	Expo	0,13774	0,18841	50	0,419	0,05
$Z_{b,2}$	Expo	0,09911	0,18841	50	0,4482	0,05
$Z_{c,1}$	Expo	0,06557	0,18841	50	0,4591	0,05
$Z_{c,2}$	Expo	0,07695	0,18841	50	0,276	0,05

TABLE 4.3 – Ajustement des lois des inter-arrivées des cartons aux palettiseurs

Interprétation des résultats

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement des variable $Z_{a,i}, Z_{b,i}, Z_{c,i} \ i = \overline{1, 2}$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée³ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0, 05$.

En résumé, d'après ces résultats on constate que :

La durée moyenne entre deux arrivées successives des produits au palettiseur A, est de 1.8 min pour le type 1 et 3.08 min pour le type 2 ;

Le taux d'arrivée des produits au palettiseur B, est de 2.39 min pour le type 4 et 2.24 min pour le type 5 ;

3. $d_{50,0,05}$, voir Annexe B

Le taux d'arrivée des produits au palettiseur C, est de 2.17 min pour le type 5 et 3.62 min pour le type 6.

2. Loi de service des palettiseurs

Soit :

$M_{a,1}$: variable aléatoire représentant la durée de service en minute de palettiseur A (pour client 1).

$M_{a,2}$: variable aléatoire représentant la durée de service en minute de palettiseur A (pour client 2).

$M_{b,1}$: variable aléatoire représentant la durée de service en minute de palettiseur A (pour client 3).

$M_{b,2}$: variable aléatoire représentant la durée de service en minute de palettiseur B (pour client 4).

$M_{c,1}$: variable aléatoire représentant la durée de service en minute de palettiseur B (pour client 5).

$M_{c,2}$: variable aléatoire représentant la durée de service en minute de palettiseur B (pour client 6).

Variable	Lois	K-S calc	K-S théo	T Ech	μ	α
$M_{a,1}$	Expo	0,1058	0,17231	60	0,74277	0,05
$M_{a,2}$	Expo	0,16681	0,17231	60	0,586	0,05
$M_{b,1}$	Expo	0,08665	0,18841	50	0,537	0,05
$M_{b,2}$	Expo	0,07432	0,17231	60	0,646	0,05
$M_{c,1}$	Expo	0,07035	0,18841	50	0,5385	0,05
$M_{c,2}$	Expo	0,05663	0,17231	60	0,5325	0,05

TABLE 4.4 – Ajustement des lois de service des palettiseurs

Interprétation des résultats

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement des variable $M_{a,i}, M_{b,i}, M_{c,i}, i = \overline{1,2}$ par une loi de exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée⁴ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

En résumé, d'après ces résultats on constate que :

La durée moyenne de service d'un produit dans le palettiseur A est de 1,34min pour le client 1 et 1,70min de pour le client 2.

La durée moyenne de service d'un produit dans le palettiseur B est de 1,86min pour le client 1

4. $d_{0,05}$, voir Annexe B

et de 1,54min pour le client 2.

La durée moyenne de service d'un produit dans le palettiseur C est de 1,85min pour le client 1 et de 1,9min pour le client 2.

4.1.2.4. Identifications de différentes lois du processus stockage

1. Loi des inter-arrivées

Soit $F1$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées (palettes) dans la chambre froide en minute pour le produit shortening 38/40.

Soit $F2$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées (palettes) dans la chambre froide en minute pour le produit smen 1.8Kg.

Soit $F3$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées (palettes) dans la chambre froide en minute pour le produit feuilletage 500g.

Soit $F4$: variable aléatoire représentant l'intervalle de temps séparant deux arrivées (palettes) dans la chambre froide en minute pour le produit matina 400g.

Variable	Lois	K-S calc	K-S théo	T Ech	λ	α
$F1$	Expo	0,0963	0,21021	40	0,0327	0,05
$F2$	Expo	0,0671	0,21021	40	0,034	0,05
$F3$	Expo	0,0875	0,21021	40	0,066	0,05
$F4$	Expo	0,0789	0,21021	40	0,016	0,05

TABLE 4.5 – Ajustement de loi des inter-arrivées des palettes dans la chambre froide des quatre produits

Interprétation des résultats

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $F1$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée⁵ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $F2$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée⁶ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $F3$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée⁷ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

5. $d_{40,0.05}$, voir Annexe B

6. $d_{40,0.05}$, voir Annexe B

7. $d_{40,0.05}$, voir Annexe B

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $F4$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée⁸ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

2. Loi des durées de service

Soit $S1$: variable aléatoire représentant la durée de service (durée de séjour) des palettes en jours dans la chambre froide de produit shortening 38/40.

Soit $S2$: variable aléatoire représentant la durée de service (durée de séjour) des palettes en jours dans la chambre froide de produit smen 1.8Kg.

Soit $S3$: variable aléatoire représentant la durée de service (durée de séjour) des palettes en jours dans la chambre froide de produit feuilletage 500g.

Soit $S4$: variable aléatoire représentant la durée de service (durée de séjour) des palettes en jours dans la chambre froide de produit matina 400g.

Variable	Lois	χ^2 calc	χ^2 théo	DL	T Ech	μ	α
X1	Expo	17,803	20,09	8	273	0,176	0,01
X2	Expo	12,691	20,09	8	273	0,194	0,01
X3	Expo	5,456	20,09	8	273	0,340	0,01
X4	Expo	2,456	20,09	8	273	0,024	0,01

TABLE 4.6 – Ajustement de la loi de service des palettes dans la chambre froide des trois types de produits

Interprétation des résultats Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $S1$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée⁹ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $S2$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée¹⁰ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $S3$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée¹¹ qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

8. $d_{40,0.05}$, voir Annexe B

9. $d_{273,0.05}$, voir Annexe B

10. $d_{273,0.05}$, voir Annexe B

11. $d_{273,0.05}$, voir Annexe B

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, on accepte l'ajustement de la variable $S4$ par une loi exponentielle, car la statistique calculée est inférieure à la valeur tabulée¹² qui lui correspond au seuil de confiance $\alpha = 0,05$.

En résumé, d'après ces résultats on constate que :

La durée moyenne de séjour de produits shortening 38/40 dans la chambre froide est de 5,67 jours.

La durée moyenne de séjour de produits smen 1.8Kg dans la chambre froide est de 5,14 jours.

La durée moyenne de séjour de produits feuilletage 500g dans la chambre froide est de 2,94 jours.

La durée moyenne de séjour de produits matina 400g dans la chambre froide est de 40,52 jours.

4.2 Résolution par simulation

D'après l'analyse préliminaire dans l'unité de production de la margarinerie de CEVITAL, on conclut que l'évaluation des performances de cette unité est réellement un problème complexe. En effet, le système est modélisé par un réseau de files d'attente de Jackson complexe, car il est constitué des systèmes de files d'attente de $M/M/1$ dans le mouvement de production, $M_2/M_2/1$ avec priorité relative dans le mouvement de palettisation et $M/M/m(FIFO, \infty)$ avec quatre types de produits dans le mouvement de stockage. A cet effet, la modélisation analytique étant très complexe, c'est pourquoi nous avons opté pour une approche par simulation à évènement discrets afin d'évaluer les performances du système (unité de production de la margarinerie de CEVITAL) et nous avons conçu un simulateur pour ce réseau de files d'attente pour évaluer ses performances.

Notre réseau de files d'attente sera alors implémenté sur le logiciel de simulation à événement discret, JMT :

12. $d_{273,0.05}$, voir Annexe B

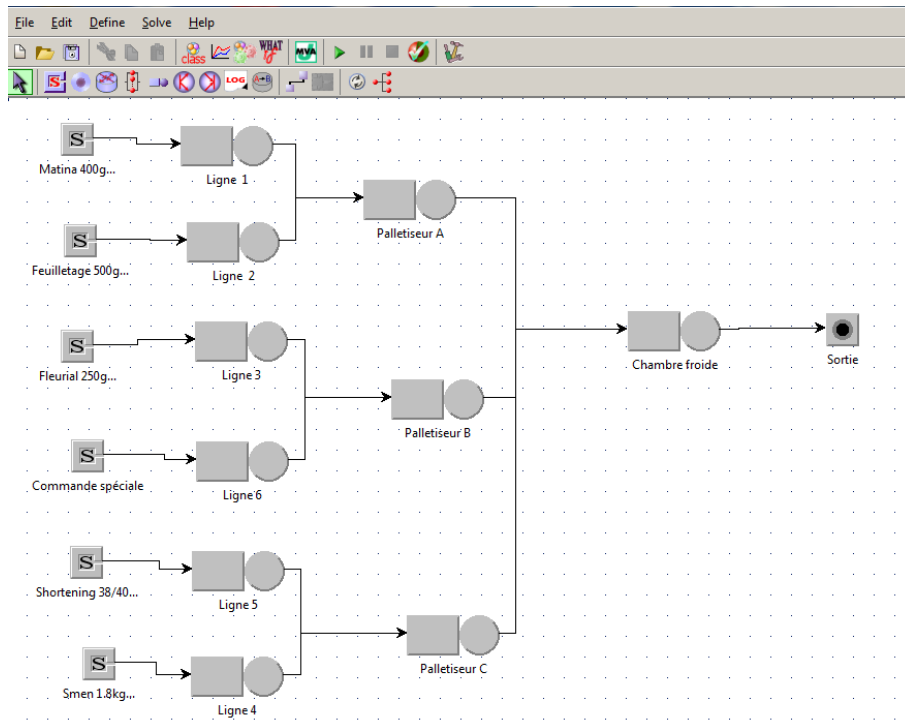


FIGURE 4.5 – Graphe du réseau de files d’attente implémenté sous JMT

4.2.1 Résultats de la simulation sous les conditions actuelles

Après la transcription informatique et la vérification du programme, nous allons procéder à la simulation des conditions actuelles de fonctionnement de l’unité de production de la margarinerie de CEVITAL.

Les résultats de cette simulation établis sur une période d’une journée de travail (car la production change pour chaque quart de travail), soit 1440 minutes, après avoir saisi les paramètres des différents mouvements, les résultats sont les suivantes :

2.2.1.1 Performances du 1^{er} sous-système (mouvement de production)

Dans ce sous-système, les unités traitées sont les pots (unités) de la margarinerie.

Performances	Ligne 1	Ligne 2	Ligne 3	Ligne 6	Ligne 5	Ligne 4
Nbr d’unité dans le système (pot/ minute)	0.55 \simeq 1	1.076 \simeq 1	1.60 \simeq 2	3.44 \simeq 3	3.98 \simeq 4	0.93 \simeq 1
Temps moyen de séjour dans le système	4.81 min	3.70 min	5.85 min	10.68 min	17.87 min	4.16 min
Temps moyen d’attente dans la file	1.71 min	1.86 min	3.61 min	8.29 min	14.26 min	2.01 min

TABLE 4.7 – Performances du 1^{er} sous-système par simulation du fonctionnement actuel

Interprétation des résultats

Les résultats de cette simulation montrent que :

Ligne 1

Le nombre d'unités de margarine dans le système (ligne 1) est égal à 1 unité, le temps moyen de séjour d'une unité de margarine dans le système (ligne 1) est égal à 4.81 minutes, tandis que le temps moyen d'attente dans la file est égal à 1.71 minute, ce qui est expliqué par la grande cadence de production de ce genre des produits (Matina400g, Fleuriel500g et Smen500g) dont la production est presque quotidienne.

Ligne 2

Le nombre d'unités de la margarinerie dans ce système (ligne 2) est égal à 1 unité, le temps moyen de séjour d'une unité de la margarinerie dans le système (ligne 2) est égal à 3.70 minutes, tandis que le temps moyen d'attente dans la file est égal à 1.86 minute, de même, cette ligne dispose d'une cadence de production major, puisque Feuilletage500g est un produit phare.

Ligne 3

Le nombre d'unités de la margarinerie dans ce système (ligne 3) est égal à 2 unités, le temps moyen de séjour d'une unité de la margarinerie dans le système (ligne 3) est égale à 5.85 minutes, tandis que le temps moyen d'attente dans la file est égal à 3.61 minutes.

Ligne 6

Le nombre d'unités de la margarinerie dans ce système (ligne 6) est égale à 3 unités, le temps moyen de séjour d'une unité de la margarinerie dans le système (ligne 6) est égale à 10.685 minutes, tandis que le temps moyen d'attente dans la file est égale à 8.294 minutes, cette ligne est spécialisé pour les commandes spéciales (Beurre 5kg), qui sont des produit de classe C. Donc la production se fait à des grandes quantités occasionnellement.

Ligne 5

Le nombre d'unités de la margarinerie dans ce système (ligne 5) est égal à 4 unités, le temps moyen de séjour d'une unité de la margarinerie dans le système (ligne 5) est égale à 17.87 minutes, tandis que

le temps moyen d'attente dans la file est égal à 14.26 minutes. Les produits de cette ligne (Shortening et Graisses) sont de même occasionnelles et une fois produits ça sera avec une grande quantité.

Ligne 4

Le nombre d'unités de la margarinerie dans ce système (ligne 4) est égal à 1 unité, le temps moyen de séjour d'une unité de margarine dans le système (ligne 4) est égal à 4.16 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en dans la file est égal à 2.01 minutes.

On remarque que les systèmes (ligne 5 et 6) ont un nombre d'unités supérieur par rapport aux autres systèmes (lignes),vu que sont des produits occasionnels , et le temps moyen de séjour dans le système (ligne 2) dispose durée moyenne de séjour inférieure, puisque les produits de cette lignes sont beaucoup demandé dans le marché.

2.2.1.2 Performances du 2^{me} sous-système (mouvement de palettisation)

Dans ce sous-système, les unités traitées sont les cartons de margarine (ensemble de produits rassemblés dans une seule boite en carton).

A. Performances du Palettiseur A

Performances	<i>Client</i> ₂ (descenseur 6)	<i>Client</i> ₁ (descenseur 5)
Nbr de cartons dans le système (cartons/ minute)	0.438 \simeq 1	0.974 \simeq 1
Temps moyen de séjour dans le système	3.806 min	3.390 min
Temps moyen d'attente dans la file	2.111 min	2.038 min

TABLE 4.8 – Performances du Palettiseur A du 2^{ème} sous-système par la simulation du fonctionnement actuel

Interprétation des résultats

Les résultats de cette simulation montrent que le nombre de cartons de la margarine dans le système de descenseur 6 (client 2) est égal à 1 carton, le temps moyen de séjour d'un carton dans le système de descenseur 6 est égal à 3.806 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en descenseur 6 est égal à 2.111 minutes.

Le nombre de cartons de margarine dans le système de descenseur 5 (client 1) est égal à 1 carton, le temps moyen de séjour d'une unité de la margarinerie dans le système de descenseur 5 est égal à 3.390 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en descenseur 5 est égal à 2.038 minutes.

On remarque que le nombre moyen de client1 (Feuilletage500g) est significatif, puisque il s'agit d'un

produit phare. En revanche, les produits de type 2 sont moins produits puisque sont de classe B (Smen500g, Fleuriel500g et Matina400g).

B. Performances du Palettiseur B

Performances	<i>Client</i> ₂ (descenseur 4)	<i>Client</i> ₁ (descenseur 3)
Nbr de cartons dans le syst (cartons/minute)	6.183 \simeq 6	6.066 \simeq 6
Temps moyen de séjour dans le système	4.17 min	4.20 min
Temps moyen d'attente dans la file	3.17 min	4.19 min

TABLE 4.9 – Performances du Palettiseur B du 2^{ème} sous-système par la simulation du fonctionnement actuel

Interprétation des résultats

Le nombre de cartons de la margarine dans le système de descenseur 4 (client 2) est égal à 7 cartons, le temps moyen de séjour d'un carton de la margarine dans le système de la descenseur 4 est égal à 4.17 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en descenseur 4 (file) est égale à 3.17 minutes.

Le nombre de cartons de la margarine dans le système de descenseur 3 (client 1) est égal à 6 cartons, le temps moyen de séjour d'un carton de la margarine dans le système de la descenseur 3 est égal à 4.20 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en descenseur 3 (file) est égale à 4.19 minutes.

C. Performances du Palettiseur C

Performances	<i>Client</i> ₂ (descenseur 2)	<i>Client</i> ₁ (descenseur 1)
Nbr de cartons dans le syst (cartons/minute)	2.287 \simeq 2	2.276 \simeq 2
Temps moyen de séjour dans le système	10.508 min	10.241 min
Temps moyen d'attente dans la file	8.626 min	8.348 min

TABLE 4.10 – Performances du Palettiseur C du 2^{ème} sous-système par la simulation du fonctionnement actuel

Interprétation des résultats

Le nombre de cartons de la margarine dans le système de descenseur 2 (client 2) est égale à 2 cartons, le temps moyen de séjour d'un carton de la margarinerie dans le système de descenseur 2 est égale à 10.508 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en descenseur 2 (file) est égale à 8.626 minutes.

Le nombre de cartons de la margarine dans le système de descenseur 1 (client 1) est égal à 2 cartons,

le temps moyen de séjour d'un carton de la margarinerie dans le système de descenseur 1 est égal à 10.211 minutes, tandis que le temps moyen d'attente en descenseur 1 (file) est égale à 8.348 minutes. On remarque d'après les résultats obtenues de simulation dans les trois palettiseurs que : dans le palettiseur A, les clients de ce palettiseur ont une petite durée moyen de séjours et aussi un nombre de cartons dans le système petit par apport aux autres palettiseurs car les produits de ce palettiseurs parmi les produits phares.

2.2.1.3 Performances du 3^{me} sous-système (mouvement de stockage)

Dans ce sous-système, les unités traitées sont les palettes de la margarine. Vu la gamme importante des produits de la Margarinerie de CEVITAL, l'étude des performances de chacun d'entre eux s'avère difficile. Pour cela nous avons choisis quatre produits de classe A et B, pour calculer leurs performances : Shortening 38/40, Smen 1.8Kg, Feuilletage 500g et matina 400g, alors les résultats sont comme suit :

Performances	Shortening38/40	Smen1.8Kg	Feuilletage500g	Matina400g
Nbr de Plts	273.09 Plt/jr	251.92 Plt/jr	283.91 Plt/jr	1001.8
Temps moyen de séjour	8323.2m ⇒ 5.79 jr	7233.12m ⇒ 5.023 jr	4143.211m ⇒ 2.87 jr	57657.6m ⇒ 41.04 jr
Longueur de la file	0	0	0	0

TABLE 4.11 – Performances du 3^{eme} sous-système par simulation du fonctionnement actuel

Interprétation des résultats

Shortening 38/40

Le nombre de palettes de type Shortening 38/40 égale à 273.09 Palettes/jour, le temps moyenne de séjour de ce type est 5.79 jours et la longueur de la file est égale à 0, ce produit ne séjourne pas beaucoup dans la chambre froide sa durée de séjour est 5.79 jours car c'est un produit phare.

Smen 1.8Kg

Le nombre de palettes de type Smen 1.8Kg égale à 251.92 Palettes/jour, le temps moyenne de séjour de ce type est 5.023 jours et la longueur de la file est égale à 0, ce produit ne séjourne pas beaucoup dans la chambre froide sa durée de séjour est 5.023 jours car c'est un produit phare.

Feuilletage 500g

Le nombre de palettes de type Feuilletage 500g égale à 283.91 Palettes/jour, le temps moyenne de séjour de ce type est 2.86 jours et la longueur de la file est égale à 0, ce produit ne séjourne pas

beaucoup dans la chambre froide sa durée de séjour est 2.86 jours car c'est un produit phare.

Matina 400g

Le nombre de palettes de type Matina 400g égale à 1001.8 Palettes/jour, le temps moyenne de séjour de ce type est 41.04 jours et la longueur de la file est égale à 0, au contraire des trois premiers produits ce produits séjourne beaucoup dans la chambre froide avec une durée de séjour de 41.04 jours car ce produit n'est pas trop demandé dans le marché c'est pourquoi il est parmi la classe B.

4.2.2 Simulation des performances dans le cas de variation des paramètres dans le 3^{ème} sous-système (stockage)

Pour faire face à l'augmentation et le changement de la capacité de production dans chaque quart de travail, et que la chambre froide puisse contenir tous les produits arrivants par quart, soit en augmentant la capacité d'accueil du système, par conséquent de la chambre froide, soit avec une meilleure exploitation du capacité existante en diminuant la durée de séjour des palettes dans le stock.

Remarque 4.1. *Puisque notre objectif est de proposer un plan de stockage pour la chambre froide de CEVITAL FOOD, pour minimiser la durée de séjour des palettes dans le stock, nous nous sommes intéressés aux caractéristiques de la dernière station (chambre froide).*

2.2.2.1 Simulation par variation de taux d'arrivées (λ)

En premier lieu nous avons essayé de simuler les performances (capacité d'entreposage) de la chambre froide en augmentant l'intensité du trafic.

A. Shortening 38/40

Taux d'arrivée (λ)	0.032	0.052	0.082	0.102	0.122
Nombre moyen de palettes (dans la chambre p/jour)	273.09	290.543	440.321	590.987	780.657
Temps de séjour (jour)	5.97	5.81	5.83	5.89	6.05
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	0	0	0	0	2.111
Nombre moyen de palettes (dans file) (p/min)	0	1.301	1.467	3.011	3.500
Taux d'arrivée (λ)	0.152	0.182	0.202	0.222	0.242
Nombre moyen de palettes (dans la chambre p/jour)	920.1	1000.201	1200.516	1389.025	1401.02
Temps de séjour (jour)	6.121	6.211	6.456	6.801	7.211
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	3.411	3.521	3.701	4.003	4.201
Nombre moyen de palettes (dans la file) (p/min)	4.021	5.104	5.900	6.200	7.012

TABLE 4.12 – Influence du taux de trafic (λ) de Shortening 38/40 sur la capacité du stock

La figure suivante étant une représentation graphique du nombre de palettes dans le système (chambre froide) en fonction du taux d'arrivé :

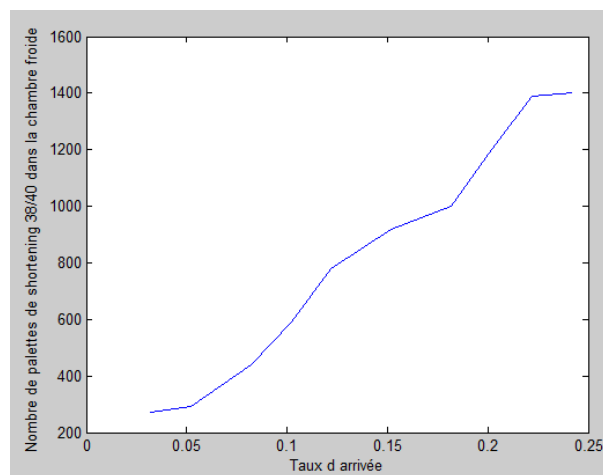


FIGURE 4.6 – Nombre de palettes dans la chambre froide en fonction du taux d'arrivé de shortening 38/40

Interprétation des résultats

Les résultats obtenues pour Shortening 38/40 montre que pour une augmentation du taux de trafic de 10% c.à.d $\lambda=0.122$ (palettes/jr), la chambre froide peut faire face puisque le nombre de palettes dans la chambre qui est égal à 780.657 (palettes/jr) ne dépasse pas la limite 1380.

Par contre la chambre sera saturé (tous les emplacements de stockage seront occupés) dès que le taux d'arrivées dépasse 0.222, dont le nombre moyen de palettes dans la chambre est égal à 1389.025 qui

est supérieure à la capacité de la chambre (1380 palettes). L'augmentation du taux de trafic donc, entraîne une saturation du système, par conséquent une augmentation du temps d'attente dans la file et de la longueur de la file, et par la suite une augmentation du temps de séjour des palettes dans le stock ; ce qui les conduits vers la péremption.

B. Smen 1.8Kg

Taux d'arrivée (λ)	0.034	0.055	0.075	0.105	0.135
Nombre moyen de palettes (p/jour)	251.09	300.861	453.987	467.098	499.210
Temps de séjour (jour)	5.023	5.123	5.45	5.67	6.01
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	0	0	0	0	1.310
Nombre moyen de palettes (file) (p/min)	0.517	1.452	2.321	3.409	3.901
Taux d'arrivée (λ)	0.165	0.185	0.205	0.225	0.255
Nombre moyen de palettes (p/jour)	798.312	1001.411	1156.010	1397.321	1439.123
Temps de séjour (jour)	6.515	6.911	7.056	7.353	7.800
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	1.568	2.310	3.013	4.501	4.990
Nombre moyen de palettes (file) (p/min)	4.502	5.123	7.567	8.145	9.234

TABLE 4.13 – Variation du taux d'arrivées (λ) pour Smen 1.8Kg

La figure suivante représente la variation de taux d'arrivées de Smen 1.8Kg par rapport au nombre de palettes dans le système (chambre froide) :

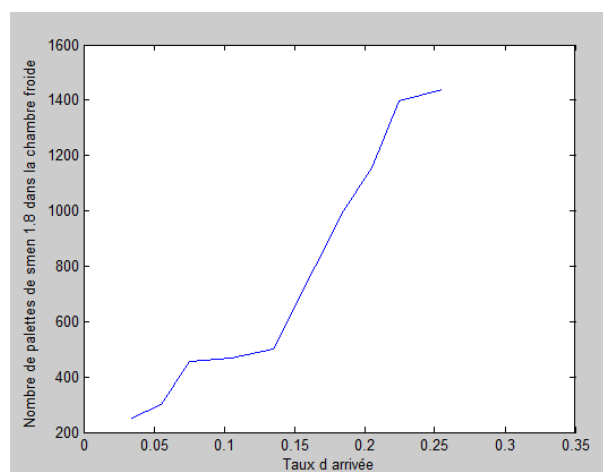


FIGURE 4.7 – Nombre de palettes de smen 1.8Kg dans le système (chambre froide) en fonction du taux d'arrivées

Interprétation des résultats

Pour un taux d'arrivés $\lambda=0.225$ (palettes/jr) le nombre de palettes égale à 1397.321 (palettes/-jour). Alors au déla de cette valeur la chambre froide sera saturé, soit à partir d'une augmentation de 500% donc d'ici 50 ans la chambre froide ne pouras plus supporter l'augmentation de la cadence de production.

C. Feuilletage 500g

Taux d'arrivée (λ)	0.066	0.086	0.106	0.136	0.156
Nombre moyen de palettes (p/jour)	283.91	290.801	300.012	450.02	600.05
Temps de séjour (jour)	2.87	2.90	3.21	3.62	4.02
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	0	0	0	0	1.091
Nombre moyen de palettes (file) (p/min)	1.231	2.400	3.541	3.908	4.214
Taux d'arrivée (λ)	0.176	0.196	0.216	0.236	0.266
Nombre moyen de palettes (p/jour)	720.501	900.456	1156.786	1390.212	1405.321
Temps de séjour (jour)	4.549	5.210	5.831	6.120	6.450
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	2.501	2.600	2.734	3.231	4.012
Nombre moyen de palettes (file) (p/min)	6.223	7.909	9.213	10.213	13.1

TABLE 4.14 – Variation du taux d'arrivées (λ) pour Feuilletage 500g

Le graphe suivant qui représente la variation de taux d'arrivées par rapport au nombre de palettes dans le système (chambre froide) :

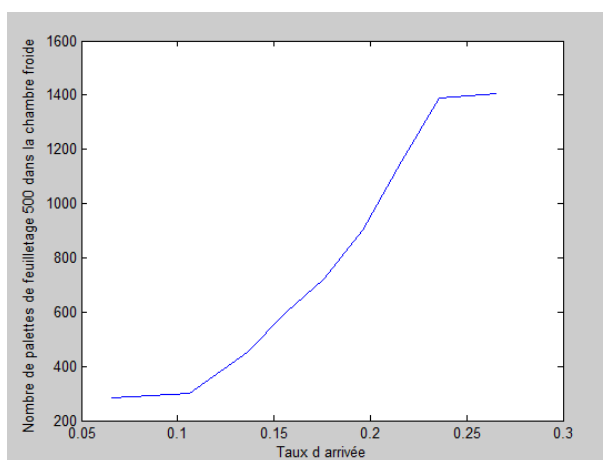


FIGURE 4.8 – Graphe de la variation de taux d'arrivées par apport au nombre de palettes de feuilletage 500g dans le système (chambre froide)

Interprétation des résultats

Les résultats de simulation obtenues pour le produit feuilletage 500g montr que :
 Si λ augmente de 10% c.à.d $\lambda=0.176$ (palettes/jr), le nombre de palettes dans le système est égal à 720.501 (palettes/jr). Et pour $\lambda=0.224$ (palettes/jr), le nombre de palettes égal à 1390.212 (palettes/jour). Alors à partir de $\lambda=0.236$ le nombre de palettes dans la chambre froide dépasse la capacité de cette chambre.

D. Matina 400g

Taux d'arrivée (λ)	0.016	0.036	0.056	0.086	0.116
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1001.801	1010.981	1090.012	1198.098	1239.098
Temps de séjour (jour)	41.02	43.91	45.31	46.42	48.22
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	0	0	0	0	2.191
Nombre moyen de palettes (file) (p/min)	3.211	5.640	9.351	10.198	11.114
Taux d'arrivée (λ)	0.136	0.166	0.186	0.206	0.226
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1386.091	1400.981	1421.917	1589.242	1645.221
Temps de séjour (jour)	50.910	51.220	51.811	52.320	54.550
Temps moyen d'attente (longueur de la file) (min)	6.501	9.600	14.714	19.221	29.012
Nombre moyen de palettes (file) (p/min)	15.123	20.139	22.78	25.98	30.891

TABLE 4.15 – Variation du taux d'arrivées (λ) pour matina 400g

La figure suivante représente la variation de taux d'arrivées par rapport au nombre de palettes dans le système (chambre froide) :

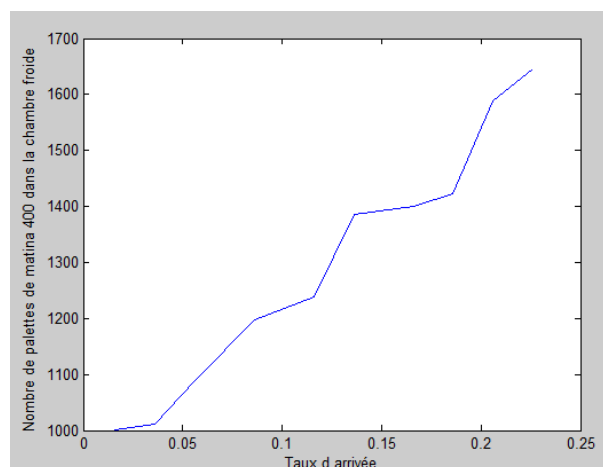


FIGURE 4.9 – Nombre de palettes de dans le système (chambre froide) en fonction du taux d'arrivées de matina 400g en fonction du

Interprétation des résultats

On remarque d’après les résultats de simulation obtenues pour matina 400g que :
 Pour une augmentation de λ de 10% c.à.d $\lambda=0.116$ (palettes/jour), le nombre de palettes dans le système est égal à 1239.098 (palettes/jour). Pour $\lambda=0.136$ (palettes/jour) le nombre de palettes égal à 1386.091 (palettes/jour). Alors de $\lambda=0.136$ au plus le nombre de palettes dans la chambre froide dépasse la capacité de cette chambre.

Conclusion

La variation du taux de trafic des certains produits dans la chambre froide, nous a montré que cette dernière peut faire face à l’augmentation de cadence de production de 10% pour un certaine temps, mais dans le cas de changement de l’apport d’augmentation vers des valeurs supérieures, les gestionnaires doivent trouver une solution faire face au surstock.

Les résultats obtenus en variant le taux de trafic, montrent que la chambre froide se caractérise par la capacité de contenir tous les produits que se soit la cadence de production pour une bonne durée de temps. Malgré ces performances, la chambre froide est souvent confronté au surstock ce qui est du au mal gestion des entrepoôt dans la chambre (l’indisponibilité des informations concernat les emplacements des produits dans la chambre).

2.2.2.2 Simulation par variation du taux de service (μ)

La diminution de la durée de séjour des palettes dans la chambre, est l’une des solutions du problème de surstock, dans le contexte de libération de places. Pour cela la minimisation de cette dernière sera un objectif majeur.

A. Shortening 38/40

Taux de service μ	0.176	0.196	0.216	0.236	0.256
Durée de séjour	5.681	5.102	4.62	4.23	3.90
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1499.412	1467.211	1456.456	1401.221	1398.634
Taux de service μ	0.450	0.681	0.734	0.812	0.890
Durée de séjour	2.22	1.46	1.36	1.23	1.12
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1388.456	1301.312	1234.211	1109.234	1004.231

TABLE 4.16 – Variation de la durée de séjour (μ) pour Shortening 38/40

La figure suivante représente la variation de taux de service par rapport au nombre de palettes dans le système (chambre froide) :

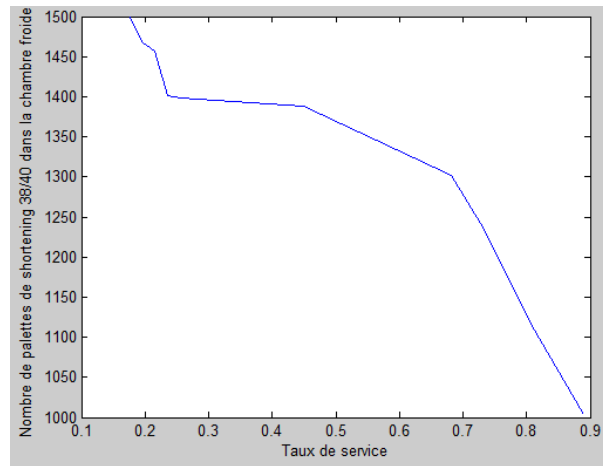


FIGURE 4.10 – Graphe de la variation du taux de service par rapport au nombre de palettes de shortening 38/40 dans la chambre froide

Interprétation des résultats

Les résultats obtenues montrent que :

Si $\mu=0.681$ (palette/jr) donc la durée de séjour est 1.46 jour, le nombre de palettes dans le système est égal à 1301.312 (palettes/jr), et à partir de $\mu=0.681$ (palette/ur) jusqu'à $\mu=0.890$ (palette/jour) le nombre de palettes dans le système ne dépasse pas la capacité de stockage dans la chambre froide c.à.d il n'ya pas le sustock et à partir de $\mu=0.681$ (palette/jour), donc on pourra résoudre le problème de surstock si on pourra ramener le taux de service à la valeur $\mu=0.681$, c.à.d la durée de séjour d'une palettes ne doit pas dépasser 1.46 jour.

B. Smen 1.8Kg

Taux de service μ	0.194	0.256	0.345	0.389	0.478
Durée de séjour	5.15	3.90	2.89	2.57	2.09
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1429.401	1409.213	1400.342	1394.234	1390.345
Taux de service μ	0.589	0.678	0.804	0.879	0.900
Durée de séjour	1.69	1.47	1.24	1.13	1.11
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1377.567	1267.567	1021.234	900.321	881.567

TABLE 4.17 – Variation de la durée de séjour (μ) pour smen 1.8Kg

La figure suivante représente la variation de taux de service par rapport au nombre de palettes dans le système (chambre froide) :

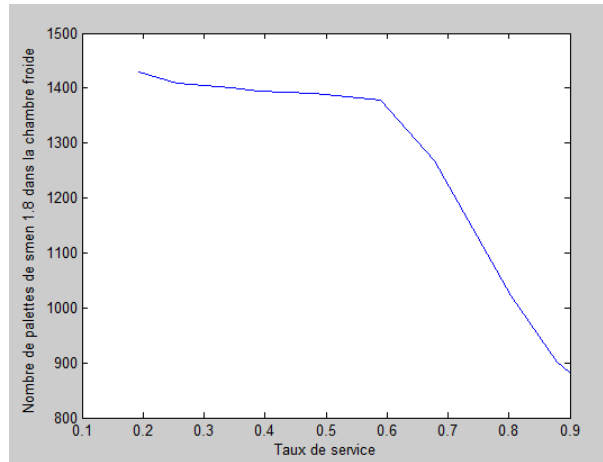


FIGURE 4.11 – Graphe de la variation du taux de service smen 1.8Kg dans la chambre froide

Interétation des résultats

On remarque que le problème de surstock sera résolu, si on pourra ramener le taux de service à la valeur $\mu=0.589$, c.à.d la durée de séjour d'une palettes ne doit pas dépasser 1.69 jour.

C. Feuilletage 500g

Taux de service μ	0.340	0.380	0.410	0.490	0.560
Durée de séjour	2.94	2.63	2.43	2.04	1.78
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1448.342	1421.897	1403.546	1396.675	1385.567
Taux de service μ	0.630	0.720	0.820	0.870	0.920
Durée de séjour	1.58	1.38	1.21	1.14	1.08
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1367.345	1267.675	1123.456	1001.323	901.231

TABLE 4.18 – Variation de la durée de séjour (μ) pour Feuilletage 500g

La figure suivante représente la variation de taux de service par rapport au nombre de palettes dans la chambre froide :

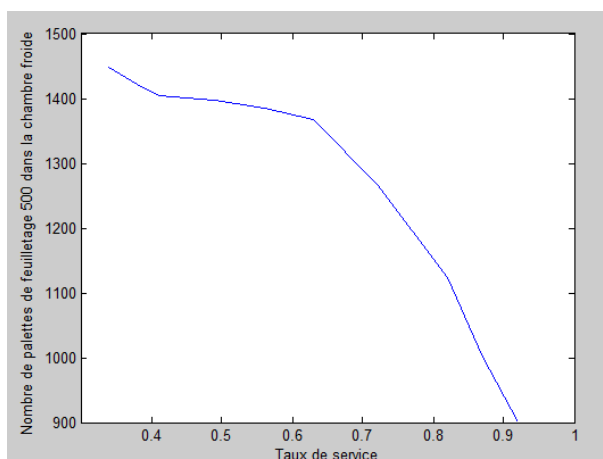


FIGURE 4.12 – Graphe de la variation du taux de service de Feuilletage 500g dans la chambre froide

Interprétation des résultats

On remarque que le problème de surstock sera résolu, si on pourra ramener le taux de service à la valeur $\mu=0.630$, c.à.d la durée de séjour d'une palettes ne doit pas dépasser 1.58 jour.

D. Matina 400g

Taux de service μ	0.024	0.044	0.064	0.096	0.116
Durée de séjour	41.6	22.72	38.21	15.62	10.41
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1698.098	1562.911	1543.576	1500.901	1475.908
Taux de service μ	0.146	0.166	0.186	0.206	0.436
Durée de séjour	6.84	6.02	5.37	4.85	2.29
Nombre moyen de palettes (p/jour)	1456.981	1419.671	1400.871	1392.378	1204.231

TABLE 4.19 – Variation de la durée de séjour (μ) pour matina 400g

La figure suivante représente la variation de taux de service par rapport au nombre de palettes dans la chambre froide :

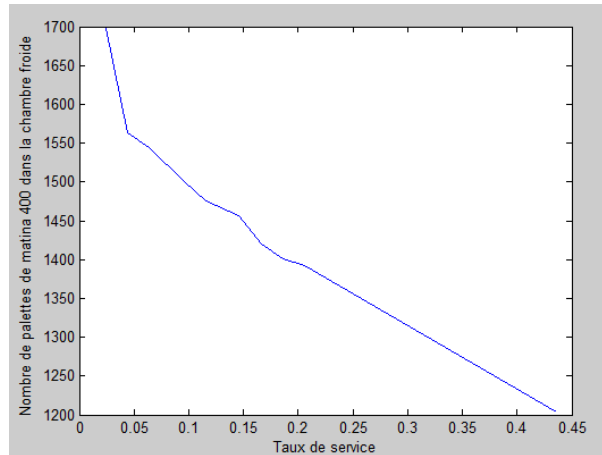


FIGURE 4.13 – Graphe de la variation du taux de service matina 400g dans la chambre froide

Interprétation des résultats

On remarque que le problème de surstock sera résolu, si on pourra ramener le taux de service à la valeur $\mu=0.436$, c.à.d la durée de séjour d’une palettes ne doit pas dépasser 2.29 jours.

Conclusion

Minimiser la durée de séjour des produits dans la chambre froide, de manière à avoir des durée inférieures à $\mu=0.681$ (palette/jour) Shortening 38/40, $\mu=0.589$ (palette/jour) pour Smen 1.8Kg, $\mu=0.630$ (palette/jour) pour Feuilletage 500g et $\mu=0.436$ (palette/jour) pour Matina 400g, nécessite un long raisonnement vu la gamme des produits existants et l’instabilité du marché (demande, production, manque de matières premières,..) nous amène à penser à deux solutions, soit en élargissant la capacité de stockage (Ajout de serveurs c.a.d, ajouter d’autres blocs ou chambres froides), soit en proposant une bonne gestion d’entrepôt qui s’avérera optimale par une bonne affectation des palettes assurant le destockage suivant la discipline FIFO.

2.2.2.3 Simulation par variation de nombres de serveurs (Ajouter des serveurs)

Nombre de serveurs ajouter	10	20	30	40	50	60	70
Durée de séjour (jr) de Shortening 38/40	5.751	5.402	3.415	2.545	2.364	2.099	1.970
Nombre moyen des produits SH	1540.1	1520.2	1501.3	1491.2	1480.9	1420.2	1403
Durée de séjour (jr) de Smen 1.8Kg	5.123	4.784	4.342	3.410	2.791	2.232	1.997
Nombre moyen des produits SM	1520.9	1491.3	1480.2	1461.5	1430.2	1411.2	1405.2
Durée de séjour (jr) de Feuilletage 500g	2.841	2.722	2.573	1.998	1.981	1.961	1.897
Nombre moyen des produits FTG	1493.9	1481.3	1470.3	1465.5	1420.1	1410.2	1409.2
Durée de séjour (jr) de Matina 400g	40.671	39.891	36.98	32.781	29.098	26.871	21.245
Nombre moyen des produits MAT	1950.3	1880.2	1830.2	1800.5	1779.1	1718.9	1650.2
Nombre de serveurs ajouter	80	90	100	200	300	500	
Durée de séjour (jr) de Shortening 38/40	1.871	1.781	1.546	1.486	1.461	0.876	
Nombre moyen des produits SH	1391.2	1389.5	1370.1	1201.7	1190.2	1100.4	
Durée de séjour (jr) de Smen 1.8Kg	1.871	1.990	1.701	1.698	1.600	1.001	
Nombre moyen des produits SM	1400.9	1391.5	1379.2	1290.5	1210.1	1190.2	
Durée de séjour (jr) de Feuilletage 500g	1.756	1.689	1.591	1.570	1.456	0.913	
Nombre moyen des produits FTG	1391/2	1385.4	1371.2	1280.2	1200.5	1180.9	
Durée de séjour (jr) de Matina 400g	18.121	16.123	12.318	9.35	5.341	2.21	
Nombre moyen des produits MAT	1600.2	1557.2	1540.2	1500.9	1400.3	1360.2	

TABLE 4.20 – Variation du capacité de stockage et durée de séjour en fonction du nombre de serveurs

Interprétation des résultats

Les résultats montrent que l’ajout des serveurs pour le stockage des palettes (cases de stockage) entraîne la diminution de la durée de séjour des palettes dans le stocks, par la suite le nombre moyen de client diminue dans le stock (pas de surstock) et le nombre de places vides augmente.

Si on prend le cas d’ajout de 10 serveurs :

La durée de séjour de Shortening 38/40 diminue à 5.751 jrs, la durée de séjour de Smen 1.8Kg est égale à 5.123 jrs, la durée de séjour de Feuilletage 500g est égale à 2.841 jours et la durée de séjour de Matina est égale à 40.671 jours ; donc le problème de sur stockage n’est pas encors résolu.

Mais en ajoutant 100 serveurs où plus, le problème de surstockage dans la chambre froide sera résolu, dont la durée de séjour de Shortening 38/40 égale à 1.486 jour, la durée de séjour de Smen 1.8Kg égale à 1.698 jour et la durée de séjour de Feuilletage 500g égale à 1.570 jour, et le nombre moyen des clients dans le système ne dépasse pas 1380.

Cette solution est donc s'avère efficace mais couteuse pour l'entreprise CEVITAL et même difficile vu l'absence de surface libre pour la construction d'autres espaces d'entrepôt. Dans ce contexte, nous sommes amenés au deuxième solution, concernat la proposition d'un plan de stockage optimal minimisant la durée de séjour des palettes et réduisant le risque de surstock.

Pour cela nous avons proposé de faire une gestion informatisée pour le système, en créant une application gérant les flux d'entrée-sortie du stock et avoir des enregistrements sur l'état physique du stock à tous moment, que ça sera l'objet du chapitre 5.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé les différents processus de l'unité margarinerie de CEVITAL par un modèle mathématique de réseau de files d'attente : le réseau de Jackson complexe. Oú nous avons évalué les performances de ce système afin de prévoir et comprendre son comportement avec le temps.

Chapitre 5

Conception et résolution

Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons constaté que la production est en augmentation de plus en plus, d'où la nécessité des places vides pour stoker les nouvelles palettes, pour cela nous avons proposé une application java avec interface graphique, pouvant résoudre ce problème, en développant un algorithme recherchant l'emplacement des palettes selon des contraintes données.

Nous donnons dans ce chapitre, les programmes et les interfaces des procédures principales de notre application, en illustrant son fonctionnement. L'apport principal de cette application est de générer un plan de stockage des palettes dans la chambre froide. Ce dernier va planifier et diriger l'opération de stockage, à savoir : la recherche d'emplacements pour les palettes en respectant quelques contraintes :

- L'homogénéité des rayons ;
- Respect de la discipline FIFO ;
- Sensibilité aux froids ;
- Stockage en suivant la forme pyramide.

5.1 Modélisation de la chambre froide

Les données disponibles comme entrées sont :

- Il existe une gamme des produits qu'on sépare en plusieurs types selon le nom, et en deux types selon la sensibilité aux froids.
- On dispose d'une seule chambre froide. Elle a pour rôle le stockage de ces produits.
- Cette dernière se constitue, de trois blocs A, B et C, dont les blocs A et B ont un degré de température plus bas que C vu la présence d'un mur séparateur entre B et C. Pour cela, les

produits sensibles aux froids ont la priorité d'être affectés aux blocs A et B.

- Le bloc a une forme cubique de 4 colonnes (la largeur), 5 lignes (la hauteur) et 23 cases -ou palettes-, l'intersection d'une ligne et d'une colonne donne un rayon, le bloc ainsi dispose de 20 rayons, le bloc sera donc modélisé par une matrice de 5 lignes et 4 colonnes c'est-à-dire : une matrice de 20 cellules .
- Le rayon contient 23 cases (palettes), le bloc contient alors, $20 \times 23 = 460$ cases, ce qui donne 1380 places dans toute la chambre.
- Le stockage se fait d'une manière aléatoire, en respectant une seule contrainte, le respect de FIFO (première arrivée, première stocké),

5.2 Présentation de l'environnement de travail

5.2.1 Outils utilisés

Dans cette partie, nous allons présenter et déterminer les outils logiciels avec lesquels on a pu concevoir et réaliser notre application. Ici vient le rôle du génie logiciel, qui impose une bonne sélection des outils et méthodes pour construire une application conforme aux besoins et aux qualités exigées. Parmi les différents outils logiciels, on a opté pour la sélection suivante :

- Java.
- XAMPPP.
- PhpMyAdmin.
- NetBeans.
- JDBC (Java Data Base Connectivity).
- SQL.

5.2.2 Java

C'est un langage de programmation orienté objet, développé par Sun Microsystems. Il permet de créer des logiciels compatibles avec de nombreux systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Macintosh, Solaris).



Java possède un certain nombre de caractéristiques qui ont largement contribué à son énorme succès : interprété, indépendant de toute plate-forme, orienté objet, simple, fortement typé, assure la gestion de la mémoire, sûr, économe, multitâche.

5.2.3 XAMPP(X Apache MySQL Perl PHP)

XAMPP est un ensemble de logiciels permettant de mettre en place facilement un serveur Web et un serveur FTP. Il s'agit d'une distribution de logiciels libres (X Apache MySQL Perl PHP) offrant une bonne souplesse d'utilisation, réputée pour son installation simple et rapide.

XAMPP est un logiciel qui a été conçu en 1999, pour simplifier et faciliter la manipulation et le travail sur des fichiers au format PHP.



Il offre la possibilité de travailler dans un environnement serveur complet . L'application regroupe un serveur Apache, une base de données MySQL, une version du langage PHP ainsi que des outils facilitant le travail et le développement de nos sites ou nos applications.

Nous avons utilisé ce dernier pour la création et la gestion de la base de données pour notre application.

XAMPP peut s'installer sur une clé usb et donc être transporté n'importe où, Une fois XAMPP est téléchargé et installé, pour vérifier s'il fonctionne, il suffit de taper dans le navigateur web préféré : <http://localhost>.

5.2.4 PhpMyAdmin

Est une interface d'administration pour le SGBD MySQL. Il est écrit en langage PHP et s'appuie sur le serveur HTTP Apache.



Il permet d'administrer les éléments suivants :

- les bases de données .
- les tables et leurs champs (ajout, suppression, définition du type).

- les index, les clés primaires et étrangères.
- les utilisateurs de la base et leurs permissions.

5.2.5 NetBeans

NetBeans est un Open source integrated development environment (IDE) (Environnement de Développement Intégré) gratuit et multilingue, conçu par Sun en juin 2000, pour la création et le développement en Java, C, C++ , Web (PHP, HTML, JavaScript, CSS) et d'autres langages de programmation.



Il est codé en Java et fonctionne sur la plupart des systèmes d'exploitation avec une machine virtuelle Java (JVM), ainsi, NetBeans constitue par ailleurs une plateforme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plateforme. Ce dernier s'enrichit à l'aide de plugins.

NetBeans comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne, tel que : la coloration syntaxique, un projet multi-langage, refactoring et un éditeur graphique d'interfaces et de pages web.

5.2.6 JDBC (Java Data Base Connectivity)

JDBC est une interface de programmation créée par Sun Microsystems un intermédiaire entre le programme Java et le SGBD choisi, il permet un accès local ou à distance, à une base de données relationnelle. Il fonctionne selon un principe Client/Serveur, où le Client est le programme Java, le Serveur est la base de données.

Le principe général est comme suit :

- a) Le programme Java ouvre une connexion avec le SGBD.
- b) Il envoie des requêtes SQL.
- c) Il récupère les résultats.
- d) Il met à jour la BD.
- e) Il ferme la connexion.

5.2.7 Language SQL (Structured Query Language)

SQL est un langage de requêtes structuré, en d'autres termes c'est un langage informatique destiné à interroger ou piloter une base de données.

5.3 Conception et Implémentation de l'application

Après avoir déterminé dans la partie précédente la méthodologie et les outils pour la conception et la réalisation de notre projet, nous allons, dans cette deuxième partie, aborder le fonctionnement de notre application de gestion des stocks des palettes, et ceci à travers la présentation de ses différentes interfaces.

5.3.1 Création de la base de données

1. Nous avons créé une base données nommée bdro. Elle contient 5 tables.

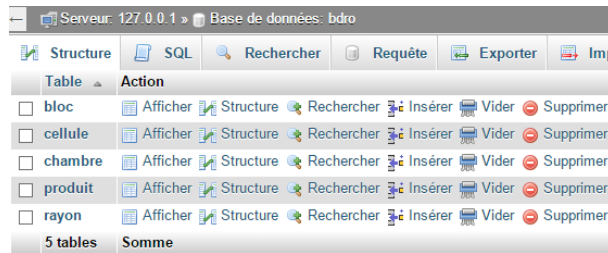


FIGURE 5.1 – La base de données bdro

2. Nous avons créé cinq tables qui sont :

- Chambre : à 2 attributs : Id_chambre(clé primaire), nom_chambre.
- Bloc : à 3 attributs :ID_bloc(clé primaire), Nom_bloc, Chmabre_id, (clé étrangère).
- Rayon :à 3 attributs : id_rayon(clé primaire), Nom_rayon, Bloc_id(clé étrangère).
- Cellule : à 5 attributs :id_cellule(clé primaire), Rayon_id(clé étrangère), Nom_cellule, Prod_id(clé étrangère), rs.
- Produit : à 6 attributs :Id_produit(clé primaire), Nom_prod, Qte, Date_Fab, Date_exp, Sensible, Cellule_id(clé étrangère).

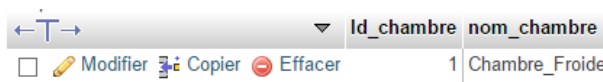


FIGURE 5.2 – La table chambre

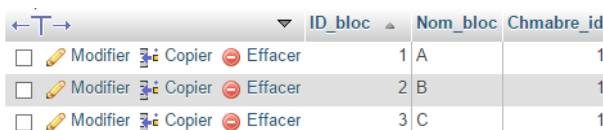


FIGURE 5.3 – La table bloc

		id_rayon	Nom_rayon	Bloc_id
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	1	1	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	2	2	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	3	3	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	4	4	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	5	5	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	6	6	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	7	7	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	8	8	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	9	9	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	10	10	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	11	11	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	12	12	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	13	13	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	14	14	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	15	15	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	16	16	1
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	17	17	1

FIGURE 5.4 – La table rayon

		id_cellule	Rayon_id	Nom_cellule	Prod_id	rs
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	1	1	A_1_1	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	2	1	A_1_2	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	3	1	A_1_3	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	4	1	A_1_4	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	5	1	A_1_5	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	6	1	A_1_6	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	7	1	A_1_7	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	8	1	A_1_8	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	9	1	A_1_9	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	10	1	A_1_10	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	11	1	A_1_11	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	12	1	A_1_12	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	13	1	A_1_13	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	14	1	A_1_14	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	15	1	A_1_15	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	16	1	A_1_16	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	17	1	A_1_17	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	18	1	A_1_18	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	19	1	A_1_19	1	A
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	20	1	A_1_20	1	Z
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	21	1	A_1_21	0	E
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	22	1	A_1_22	0	E
<input type="checkbox"/>	Modifier Copier Effacer	23	1	A_1_23	0	E

FIGURE 5.5 – La table cellule

		Id_produit	Nom_prod	Qte	Date_Fab	Date_exp	Sensible	Cellule_id
<input type="checkbox"/>	Modifier	1	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	1
<input type="checkbox"/>	Modifier	3	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	2
<input type="checkbox"/>	Modifier	6	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	3
<input type="checkbox"/>	Modifier	7	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	4
<input type="checkbox"/>	Modifier	8	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	5
<input type="checkbox"/>	Modifier	9	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	6
<input type="checkbox"/>	Modifier	10	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	7
<input type="checkbox"/>	Modifier	11	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	8
<input type="checkbox"/>	Modifier	12	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	9
<input type="checkbox"/>	Modifier	13	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	10
<input type="checkbox"/>	Modifier	14	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	11
<input type="checkbox"/>	Modifier	15	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	12
<input type="checkbox"/>	Modifier	16	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	13
<input type="checkbox"/>	Modifier	17	A	1	1234-06-06	1234-06-06	0	14

FIGURE 5.6 – La table produit

3. Remplir les tables utiles comme données d’entrée

- CHAMBRE : On dispose d’une seule chambre : chambre_froide.
- BLOC : On a trois blocs qui appartiennent tous à la même chambre : A, B, C.
- RAYON : On a 60 rayons numérotés de 1 à 60 tel que : les rayons (1-20) appartient au bloc A les rayons (21-40) appartient au bloc B, et les rayons (41-60) appartient au bloc C.
- CELLULE : On a ainsi 1380 cellules numérotées de 1 à 1380 dont les 23^{emes} premières (1-23) appartiennent au rayon 1 du bloc A et ainsi de suite jusqu’à les dernières 23^{emes} (1357-1380) qui appartiennent au rayon 60 du bloc C.

5.3.2 Règles de la gestion

Notre application marche selon un certain nombre de règles. Le protocole de réservation est le suivant :

1. Au début du quart, le gestionnaire récupère les prévisions de production de chaque produit.
2. Le gestionnaire consulte l’état du stock dans la chambre.
3. Après la consultation, il peut réserver des places vides pour les quantités prévues des produits.
4. Le gestionnaire peut annuler sa réservation ou la modifier.
5. Après réservation, une fois que la palette est arrivée, elle sera affectée directement vers son emplacement réservé.
6. L’état de stock sera mise à jour à la fin de la procédure (fin de quart).
7. Un nouveau quart commence, alors retourner à l’étape 1.

5.3.3 Capture et présentation des interfaces

Notre application est composée de 12 interfaces, dont nous allons définir juste les nécessaires. La première interface représente la page d’accueil du gestionnaire, où il y a une brève présentation

de l'unité margarinerie, et un menu.

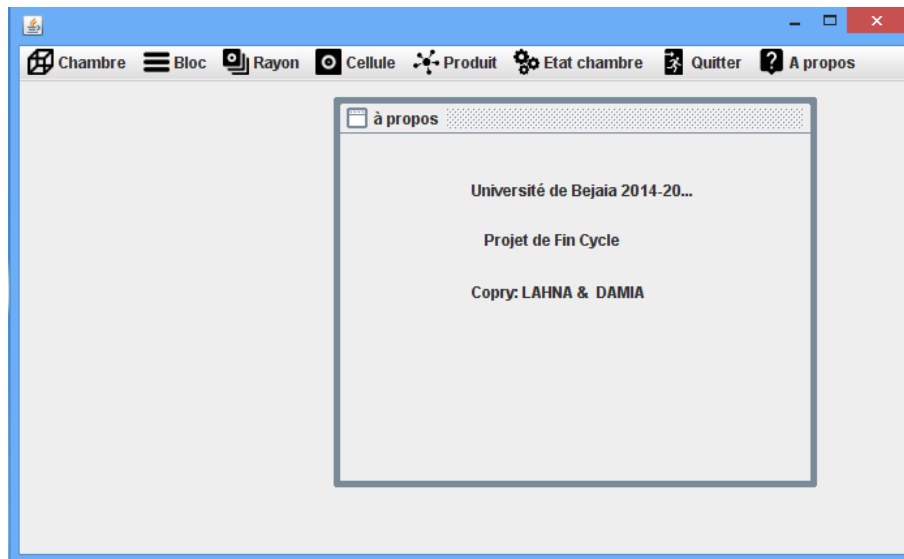


FIGURE 5.7 – Interface Principale

Nous avons un menu avec 6 boutons, chacun d'eux affiche une interface. Nous allons montrer et décrire la fonctionnalité de ses derniers :

1. Les boutons **Chambre**, **Bloc**, **Rayon**, **Cellule**

Pour les boutons **Chambre**, **Bloc**, **Rayon**, **Cellule**, chacun dispose de 2 interfaces graphiques :

- **Afficher** : la liste des données remplies s'affiche en cliquant sur ce bouton, avec une possibilité de modifier ou supprimer des données.
- **Ajouter** : permet d'ajouter d'autre données aux tables de la base de données.

2. Le bouton **Produit**

Dispose de deux interfaces graphiques :

- **Ajouter** : permet d'ajouter d'autres produits à la table **Produit**.
- **Afficher** :

Affiche la liste des produits et dispose de 3 boutons :

- (a) **Modifier** : une possibilité de modifier les informations des produits.
- (b) **Supprimer** : une possibilité de supprimer des produits.
- (c) **Rechercher** : dont on a introduit une requête qui effectue la recherche par nom et classement du produit recherché par ordre croissant selon la date d'expiration, (ce qui résoud le problème de FIFO des dates).

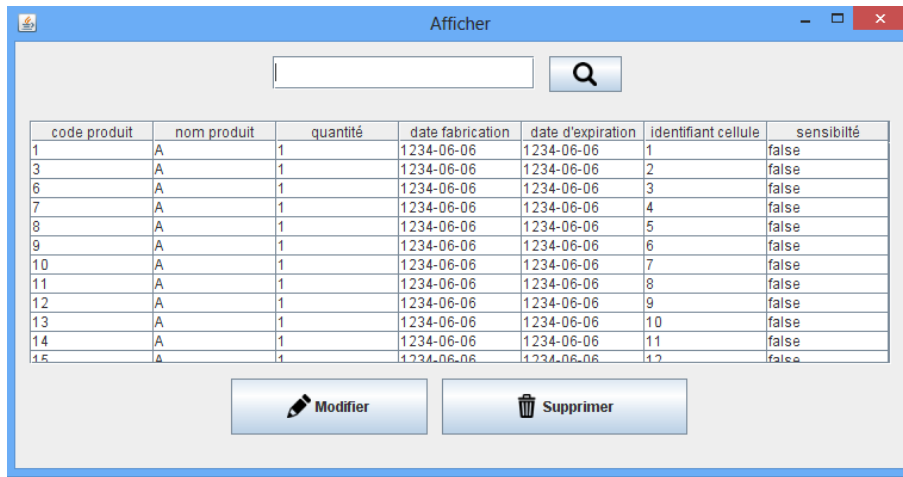


FIGURE 5.8 – Interface afficher produit

3. **Le bouton Etat chambre** Qui dispose ainsi de deux interfaces graphiques :

(a) **Etat chambre :**

La on a introduit un algorithme qui calcule le nombre de vides dans chacun des 60 rayons de la chambre.

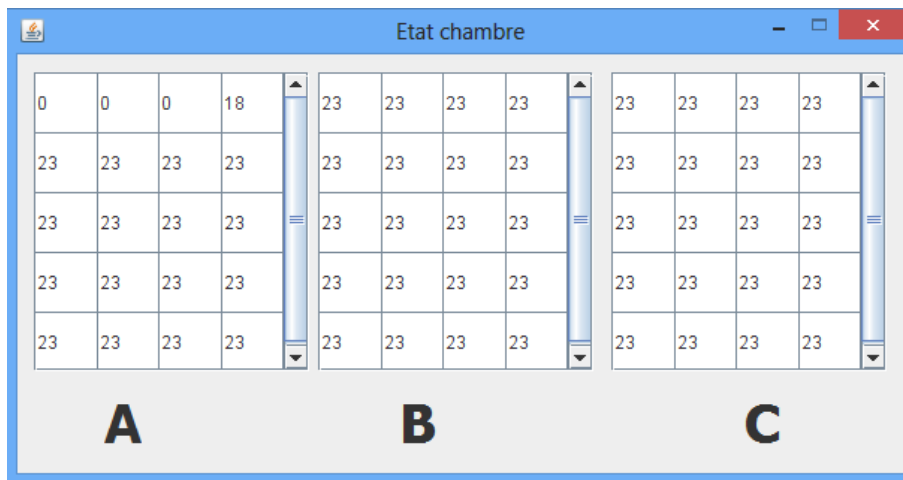


FIGURE 5.9 – Interface Etat chambre (nombre de vides)

(b) **Réserver :**

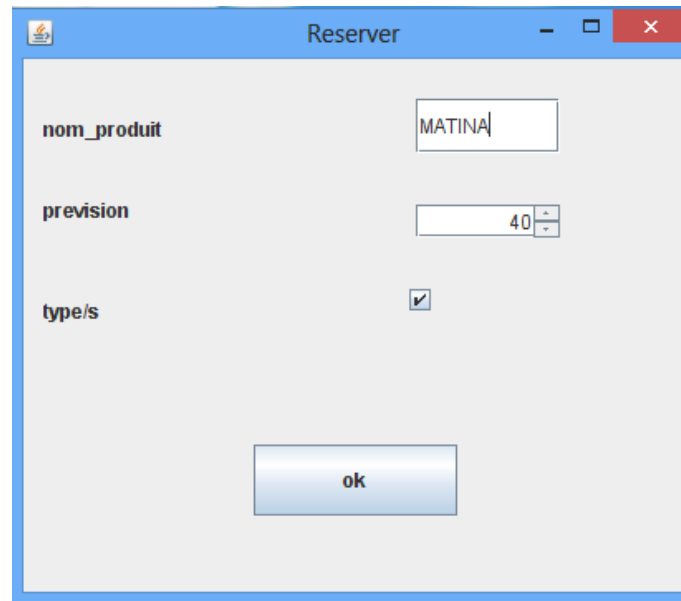


FIGURE 5.10 – Interface Réserver

La on a introduit l’algorithme principal de l’application, qui permet de rechercher des emplacements vides et appropriées pour un nombre déterminé, d’un type prédéfinie des produits, tout en respectant les contraintes citées en problématique (homogénéité, FIFO, sensibilité).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une brève présentation de notre application. Ainsi une petite illustration de son fonctionnement, concernant la génération d’un plan de stockage pour les produits margarine dans la chambre froide.

Cette gestion informatisée de la chambre froide, nous facilite la connaissance des emplacements des palettes et leurs caractéristiques (type, nom, date de fabrication date d’expiration, quantité,...), ce qui nous permet de choisir la direction de destockage selon le critère Volu, soit la recherche par nom du produit ou même selon l’ordre croissant des dates d’expiration. Cela ainsi minimise la durée de séjour des palettes dans le stock, puisque l’emplacement de chacune est connu et le processus de destockage n’est plus aléatoire.

Ce travail reste une version initiale, qui peut être mieux développée pour répondre à toutes autres nécessités, concernant les différents mouvements (entrée, sortie) et élaborer ainsi une version plus performante.

Conclusion Générale

L'objet de ce travail était d'analyser le fonctionnement de la chambre froide de l'entreprise agroalimentaire CEVITAL de Béjaia, afin d'évaluer ses performances (temps moyen de séjour dans le stock et capacité de stockage) et de prévoir le comportement du système. Plus précisément la capacité d'entreposage face à d'éventuels changements tels que l'intensité du trafic et surface de stockage. Ce travail est basé sur les données disponibles au niveau de l'entreprise CEVITAL. La difficulté majeure rencontrée est dans la collecte des données de stock, vu le changement de politique de travail d'une époque à l'autre. Ou les gestionnaires ont l'habitude d'appliquer la politique de gestion des stocks (S, s), qu'il s'agit de remonter le stock au niveau supérieur S à chaque fois qu'il s'est diminué à s. Par la suite, le réapprovisionnement du stock s'est basé sur la connaissance du seuil d'alerte r. Actuellement, la production des produits de "margarine" à CEVITAL est continue (24h/24h), pour cela les données récentes sont inutiles et ne reflètent pas le comportement actuel du stock. La non disponibilité d'autre type de données, nous a contraints à les chronométrer nous même dans la chambre froide.

La première partie est consacrée à l'effectuation d'une classification ABC des données afin de choisir les éléments sur lesquels se basera notre étude. On s'est intéressé précisément à Feuilletage 500g, Smen 1.8Kg et Shortening 38/40 qui font partie de classe A. Par la suite nous avons passé à l'élaboration des modèles de prévision des produits margarine produits, stockés et vendus, en appliquant les modèles de prévision de Box et Jenkins et Lissage Exponentiel. Les prévisions établies indiquent une évolution de production de 10 % et de 32% pour la demande sur les produits phares, pour l'année 2015.

Le processus de stockage dans la chambre froide a été modélisé par un réseau de files d'attente. A l'issu de cette analyse, un modèle de simulation du fonctionnement de la chambre froide a pu être établi en utilisant le simulateur java, avec interface graphique, JMT (Java Modeling Tools). Son objectif est de reproduire les conditions de fonctionnement de la chambre. Cet exercice de simulation permet de définir, sur la base des conditions actuelles, les temps de séjour dans la chambre froide

ainsi que le nombre moyen de clients dans la chambre.

Afin de prévoir le comportement de la chambre froide pour l'année prochaine et de voir est-ce-qu'il pourra s'adapter à la croissance de la production, deux variantes ont été proposées :

- Une simulation des performances dans la chambre froide dans le cas d'une augmentation de production de 10% ou plus, a montré que la capacité de stockage sera insuffisante et la chambre sera saturée au bout d'un taux d'arrivées strictement supérieur à 0.222.
- De même, une simulation des performances de la chambre froide dans le cas d'ajout des serveurs (capacité de stockage), a montré que la chambre froide peut faire face au surstock, dans le cas d'ajout de 100 places ou plus.

L'étude effectuée démontre que la production devrait augmenter au cours de l'année 2015. La chambre froide a la possibilité de stocker près de 1380 palettes. Elle démontre également que le taux d'entrée sera approximativement de :

- 0,0327 plt/j pour Shortening 38/40 avec un nombre moyen de palettes de 273.09 Palettes/jour.
- 0,034 plt/j pour Smen 1.8Kg avec un nombre moyen de palettes de 251.92 Palettes/jour.
- 0,066 plt/j pour Feuilletage 500g avec un nombre moyen de palettes de 283.91 Palettes/jour.
- 0,016 plt/j pour Matina 400g avec un nombre moyen de palettes de 1001.8 Palettes/jour.

La chambre froide, en tant que système très complexe et dynamique ouvre plusieurs horizons de travail et de recherche pour l'optimisation de son fonctionnement. Parmi ceux-ci on site :

- La recherche d'une amélioration de la cadence de stockage et de déstockage des palettes, ainsi que leur transfert.
- La gestion et l'optimisation de la surface d'entreposage des palettes.
- L'affectation optimale des palettes dans la chambre froide vu sa structure étagée.

La troisième proposition s'avère la plus appropriée pour CEVITAL, vu qu'elle est moins couteuse . Pour cela nous avons proposé un algorithme d'affectation des palettes dans la chambre froide sous forme de requêtes , tout en respectant les contraintes citées en problématique. Ceci est implémenté sous java avec une application à interface graphique (Netbeans). Cela a pu libérer plus de places, en minimisant la durée de séjour des palettes et réduire le risque de surstock.

En résumé, la production et les ventes des produits "margarine" de CEVITAL, ne sont pas stable quotidiennement, mais plutôt dépendent de la demande des clients, l'état du marché et même de la bonne organisation des stocks, notamment l'affectation des palettes dans la chambre froide. Il est indispensable aux responsables d'expédition de cette unité (chef de quai) de penser à améliorer leur fonctionnement en informatisant l'état physique du stock, pour y pouvoir apporter des améliorations sur leur gestion d'entrepôt .

Bibliographie

- [1] A. Adem. *Recherche Opérationnelle : Programmation Dynamique, Chaîne de Markov, Files d'attente*. Cours de tronc commun scientifique, FICM 2A, Ecole des Mines de Nancy, 2014.
- [2] A. Azib, S. Boukandoul et A.M. Baoudia. *Caractérisation sensorielle et hédonique de la margarine produite par CEVITAL*. Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2013.
- [3] A. Bartoli. *Le management dans les organisations publiques*. Ed. Dunod, 1997.
- [4] A. Bounceur et M.L. Mammasse. *Gestion optimale des silos à céréales de l'entreprise CEVITAL*. Mémoire d'Ingénieur, Université de Béjaia, 2002.
- [5] A. Kaufmann. *Méthodes et modèles de la Recherche Opérationnelle (les mathématiques de l'entreprise)*. Tome 1, 2^{ème} édition, Dunod, Paris, 1970.
- [6] A. Ruegg. *Processus Stochastiques*. Presses Polytechniques romandes, 1989.
- [7] A. Yaiche. *L'application de la méthode HACCP au sein de l'unité margarinerie du complexe alimentaire CEVITAL*. Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2013.
- [8] B. Baynat. *Probabilités statistiques, files d'attente : cours et exercices résolus*. J. Pellaumail, 1986.
- [9] B. Baynat. *Théorie des files d'attente : Des chaînes de Markov aux réseaux à forme produit, coll. Réseaux et télécommunications*. Hermès. Lavoisier, 2000.
- [10] B. Courtrot. *Introduction aux séries chronologiques*. Presses universitaires de France, 1984.
- [11] *Catalogue et documentations du constructeur de l'entreprise CEVITAL*, 2015.
- [12] D. Ait Hellal et L. Mohammedi. *Planification des besoins en composants (MRP) : Cas de l'entreprise CEVITAL*. Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2004.
- [13] D. Aissani. *Cours de théorie de files d'attente*. Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2014.
- [14] D. Carton. *Processus aléatoires utilisés en recherche opérationnelle*. Masson, Paris, 1975.
- [15] *Documentations commerciales et techniques de CEVITAL*, 2014.

-
- [16] D. Thiel. *Recherche opérationnelle et management des entreprises*. Economica, Paris, 1990.
- [17] E. Gelenbe. *Introduction aux réseaux de files d'attente*. Eyrolles, 1982.
- [18] F. Avram. *Séries temporelles : Régression et modélisation ARIMA (p, d, q)*. Université de Pau, 2012.
- [19] F. Teghbit et Y. Bouiche. *Modélisation et prévision des quantités totales de pétrole transportées par L. Oleoduc OB1 reliant Hassi Messaoud et Bejaia*. Mémoire de master en STID, Université de Béjaia, 2013.
- [20] G. Box and G.M. Jenkins. *Time Series Analysis : Forecasting and Control*. 2nd edition, Holden-Day, San Francisco, 1976.
- [21] G. Meard. *Méthodes de prévision à court terme*. Université de Bruxelles, 1990.
- [22] G. Saporta. *Théorie et méthodes de la statistique*. Technip, 1978.
- [23] H. Bedjou. *Le pilotage du stock de la chambre froide de la margarinerie de CEVITAL*. Mémoire de Magister, Université de Béjaia, 2013.
- [24] H. Perros. *Computer Simulation Techniques : The definitive introduction !*. Computer Science Department NC State University Raleigh, NC, 2009.
- [25] J.J. Daudin, C. Duby, S. Robin et P. Trécourt. *Analyse des séries chronologiques*. Université de Bordeaux, 1996.
- [26] J.M. Glachant. *Le marché et le hors-marché : une analyse économique des entreprises publiques françaises*. Sorbonne, 1994.
- [27] K. Thibodeau. *Application de la méthodologie de BOX-JENKINS aux séries du ministère de la santé*. Mémoire fin de cycle, Université du Quebec à Trois-Rivières, 2011.
- [28] L. Ferrara. *Séries Temporelles Avancées*. Notes de cours, Université Paris Ouest Nanterre, 2013.
- [29] M. David et J.S. Michaud. *La prévision approche empirique d'une méthode statistique*. Université de Lion, Messon, 1983.
- [30] M. Nana et Y. Yakam. *Modèle de prévision du parc des comptes d'une banque, cas AFRILAND First Bank*. Mémoire de master en statistique appliquée, Université Yaoundé de Cameroun, 2005.
- [31] M. Petitot. *Introduction à la modélisation des réseaux*. Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille, 2010.
- [32] N. Boudjlida. *Bases de données et systèmes d'information*. IUT, Licence, Master, Ecoles d'ingénieurs, Ed. Dunod, Paris, 2002.
- [33] N. Hamadouche. *Approximation dans les systèmes de files d'attente prioritaires*. Thèse de Doctorat, Université de Béjaia, 2010.
-

-
- [34] N. Zerrougui. *Evaluation des performances du parc à conteneurs de l'entreprise portuaire de Béjaia -EPB-*. Mémoire de d'Ingéniorat, Université de Béjaia , 2004.
- [35] O.L. Lekadir. *Stabilité forte dans les réseaux de files d'attente*. Mémoire de doctorat, Université de Béjaia , 2011.
- [36] P. Afeche. *Delay performance in stochastic processing networks with priority service*, *Operation Research Letters*. Amsterdam, 2003.
- [37] P. Baldi. *Martingales et chaînes de Markov. Théorie élémentaire et exercices corrigés*. (ISBN 2-7056-6425-4), Hermann (éditions) , 2001.
- [38] P. Quittard. *Processus stochastiques et files d'attente*. OPU, Algerie, 1983.
- [39] P. Robert. *Réseaux de files d'attente méthodes probabilistes*. SPRINGER VERLAG, 2000.
- [40] R. Belaid. *Analyse du phénomène d'attente dans un système d'accostage, essai sur un secteur du port d'Alger*. Mémoire de Magister, USTHB, 1986.
- [41] R. Bouaziz. *Application de la technique des files d'attente aux problèmes de gestion de l'aéroport de Houari Boumediene*. Mémoire de Magister, INPS, Alger, 1986.
- [42] *Registres et Fiches techniques de l'unité margarinerie de CEVITAL*, 2015.
- [43] S. Adjabi. *Cours des modèles statistiques de prévision*. Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2014.
- [44] S. Benali, K. Madani et M. Djeraoune. *Etude des paramètres de qualité de la margarine Fleurial à CEVITAL*. Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2013.
- [45] S. Donaldh, A.M. Franklin et J. Robert. *Les statistiques une approche nouvelle*. McegrawHill, 1984.
- [46] S. Hocine et N. Zareb. *Détermination du nombre optimale des camions remorqueurs au niveau du terminal à conteneurs BMT*. Mémoire d'Ingéniorat, Université de Béjaia, 2009.
- [47] S. Khoulalene. *Conception et réalisation d'une solution technologique : Système d'information pour la gestion des stocks : dépôt EDIPAL CEVITAL*. Mémoire d'ingéniorat, Université de Béjaia, 2010.
- [48] Z. Azoune, Y. Bellil et A. Acheroufene. *Conception et réalisation d'un système d'information pour la gestion des stocks : Cas CEVITAL*. Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2007.
- [49] Z. Benkhellat et B. Moussaoui. *Modélisation Markovien d'un problème de gestion de stock Cas Unité Margarinerie CEVITAL*. Mémoire d'ingéniorat, Université de Béjaia, 2011.
- [50] <http://www.cevital.com>

[51] <http://www.jmt.sourceforge.net>

[52] <http://www.mathwave.com>

[53] <https://www.r-project.org>

Annexes

Annexe **A**

Annexe A : CEVITAL

mois produit	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Beurre 5Kg	423	-	-	-	0	531	-	382	308	413	0	652
Matina 400g	503	619	521	499	181	355	286	331	619	421	227	446
Shortening 38/40	2175	1676	1815	1645	1432	1501	605	1179	1420	1817	1441	1928
Smén 1,8Kg	1379	1275	2485	2171	2380	2304	3798	1939	695	1539	1122	686
Smén 500g	541	169	625	591	632	1012	563	334	726	574	174	219
Smén 900g	883	814	450	1256	1031	478	782	1354	593	862	511	442
Beurre Feuilletage 500g	-	9	-	-	13	-	-	0	-	10	-	-
Feuilletage 500g	3661	3662	3978	3231	3170	2630	1231	2829	2786	2959	3598	3958
Feuilletage 5Kg	-	-	18	-	223	238	239	-	-	-	-	-
Fleurial 250g	1065	1791	1383	1199	1673	1254	2283	1133	1280	1184	1510	542
Fleurial 500g	99	0	51	0	11	258	618	678	0	271	493	985
Graisse mélange de Palme Tourn	-	50	0	87	31	31	100	50	75	79	50	125
Graisse palm	-	-	-	11	30	-	-	-	-	-	-	6

TABLE A.1 – Données de production 2013/2014

mois produit	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Matina 400g	6808	6001	7425	7302	6364	3503	2495	2865	4852	5892	6953	5930
Shortening 38/40	13290	8610	12788	10025	12971	9022	3856	4910	5889	12320	6438	8407
Smen 1,8Kg	543	12888	14786	11814	14829	12895	7390	7878	6264	8077	10353	7675
Smen 500g	6140	7080	4855	3451	6066	7735	3395	3206	4763	5562	6628	3312
Smen 900g	8040	7510	11186	6632	7848	5794	2885	5449	6717	5767	14285	7051
Beurre Feuilletage 500g	0	78	169	118	85	113	0	0	0	78	210	217
Feuilletage 500g	9848	9554	11079	8190	10427	15314	12385	10398	11860	9891	5348	8779
Fleurial 250g	2917	2659	7156	6008	7285	4174	7671	7112	6787	6954	5227	3860
Fleurial 500g	3626	2103	993	1554	607	2127	5282	3839	6744	4736	3797	6349
Fleurial 5Kg	0	0	0	0	0	30	31	62	50	0	0	0
Graisse mélange de Palme Tourn	0	10,72	16,08	0	0	0	0	0	24,92	0	0	0
Graisse palm	341	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6

TABLE A.2 – Données de stock 2013/2014

mois produit	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Beurre 5Kg	-	321	102,53	2,57	0,07	533,8	-		380,87	413,48	-	295,4
Matina 400g	566,75	543,44	506,27	487	434	336,98	165	321	269	202,83	178	230
Shortening 38/40	1930	1566,5	2060	1723,625	1558,5	1456	742	191	489	739	485	1050
Shortening 38/40 Hard	-	-	-	-	-	-	-	-	25	75	18	
Smen 1,8Kg	1280	1537	2314,026	2035,01	2489	2327,44	3745,83	1361	379	724	439	606
Smen 500g	485	373,04	520,05	631	533,02	1007,67	678,79	67	372	227,57	164	284
Smen 900g	683	666,03	1054	1103	1022	688,5	714,03	426,92	399,92	338	372	298
Beurre Feuilletage 500g	-	2	2	2	5	5						
Feuilletage 500g	4252	3493	3925	3348	2852	2778	1585	1283	1403	1231,5	1622	1741
Feuilletage 5Kg	7	55	54	14	241		139	42	75	44	10	24
Fleural 250g	1010	1657	1579	1232	1460	1089	2014,05	968	535,5	564	692	595
Fleural 500g	43	52,03	37	31	42	220,67	419	192	69	50	63	73

TABLE A.3 – Données des ventes 2013/2014

Annexe **B**

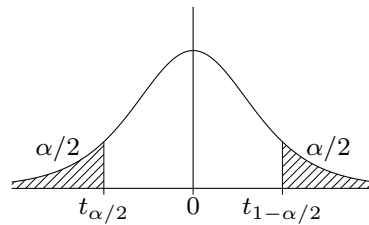
Annexe B : Lois usuelles

Loi de Student

Si T est une variable aléatoire suivant la loi de Student à ν degrés de liberté, la table donne, pour α fixé, valeur $t_{1-\alpha/2}$ telle que

$$\mathbb{P}\{|T| \geq t_{1-\alpha/2}\} = \alpha.$$

Ainsi, $t_{1-\alpha/2}$ est le quantile d'ordre $1 - \alpha/2$ de la loi de Student à ν degrés de liberté.



$\nu \backslash \alpha$	0,900	0,500	0,300	0,200	0,100	0,050	0,020	0,010	0,001
1	0,1584	1,0000	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	636,6193
2	0,1421	0,8165	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,1366	0,7649	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,1338	0,7407	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,1322	0,7267	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,1311	0,7176	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,1303	0,7111	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,1297	0,7064	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,1293	0,7027	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,1289	0,6998	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,1286	0,6974	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370
12	0,1283	0,6955	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3178
13	0,1281	0,6938	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	4,2208
14	0,1280	0,6924	1,0763	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	4,1405
15	0,1278	0,6912	1,0735	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467	4,0728
16	0,1277	0,6901	1,0711	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	4,0150
17	0,1276	0,6892	1,0690	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,9651
18	0,1274	0,6884	1,0672	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,9216
19	0,1274	0,6876	1,0655	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,8834
20	0,1273	0,6870	1,0640	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,8495
21	0,1272	0,6864	1,0627	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,8193
22	0,1271	0,6858	1,0614	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,7921
23	0,1271	0,6853	1,0603	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,7676
24	0,1270	0,6848	1,0593	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,7454
25	0,1269	0,6844	1,0584	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,7251
26	0,1269	0,6840	1,0575	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,7066
27	0,1268	0,6837	1,0567	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,6896
28	0,1268	0,6834	1,0560	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,6739
29	0,1268	0,6830	1,0553	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,6594
30	0,1267	0,6828	1,0547	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,6460
40	0,1265	0,6807	1,0500	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	3,5510
60	0,1262	0,6786	1,0455	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603	3,4602
80	0,1261	0,6776	1,0432	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387	3,4163
120	0,1259	0,6765	1,0409	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174	3,3735
∞	0,1257	0,6745	1,0364	1,2816	1,6449	1,9600	2,3263	2,5758	3,2905

orsque $\nu = \infty$, $t_{1-\alpha/2}$ est le quantile d'ordre $1 - \alpha/2$ de la loi normale $\mathcal{N}(0, 1)$.

Annexe C

Annexe C : Lois des données ajustées

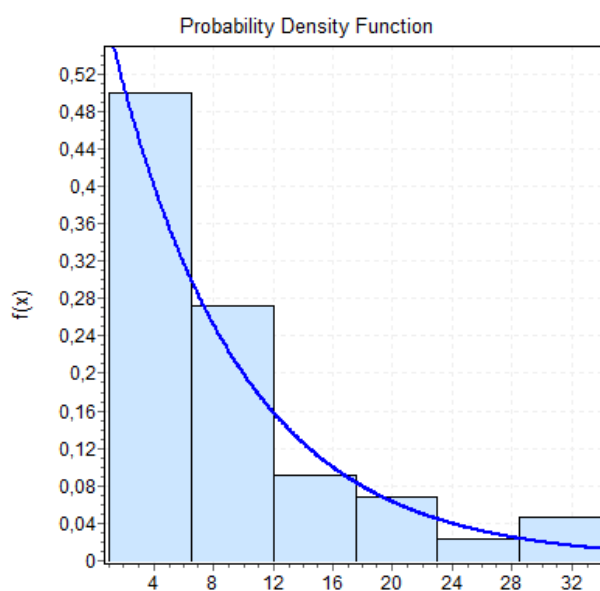


FIGURE C.1 – Histogramme des arrivés à la ligne 1

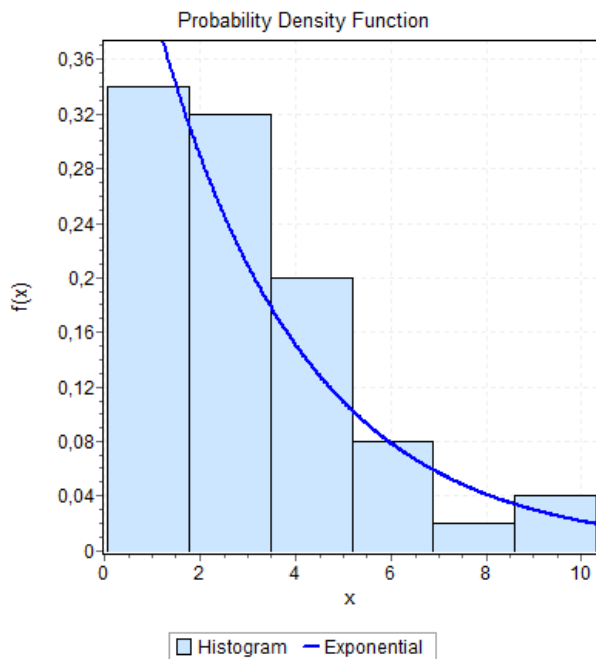


FIGURE C.2 – Histogramme du service encarteneuse 6

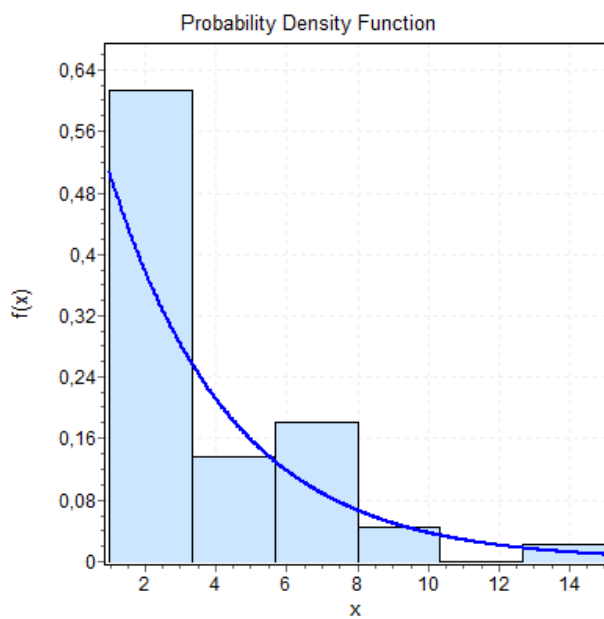


FIGURE C.3 – Histogramme des arrivés à la ligne 2

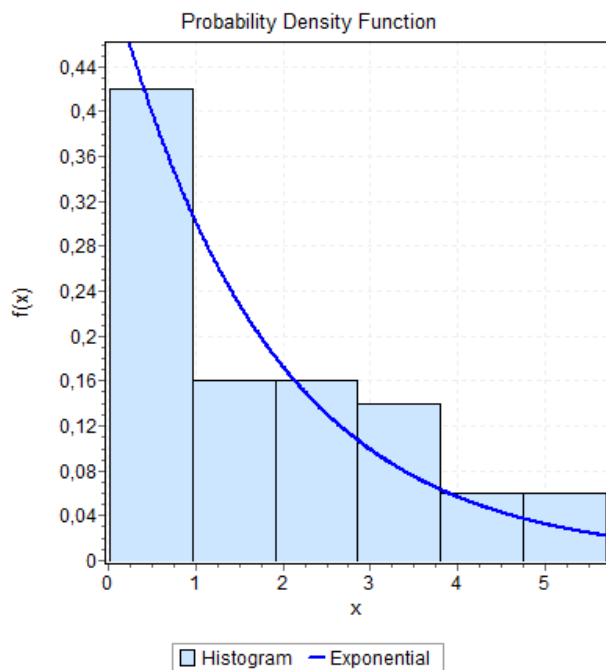


FIGURE C.4 – Histogramme du service encarteneuse 5

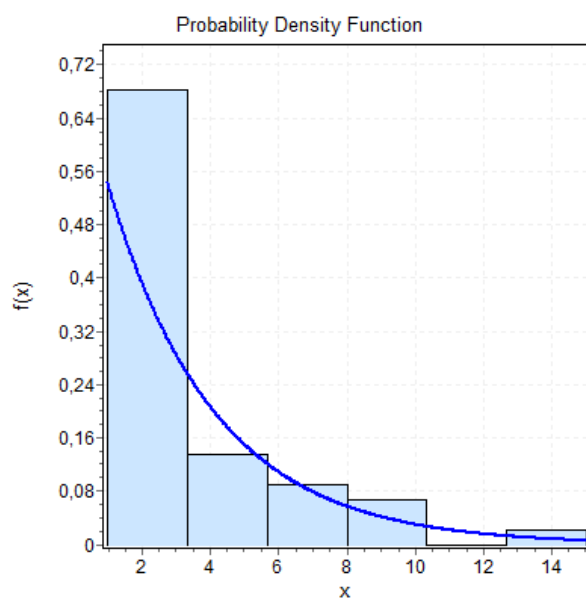


FIGURE C.5 – Histogramme des arrivés à la ligne 6

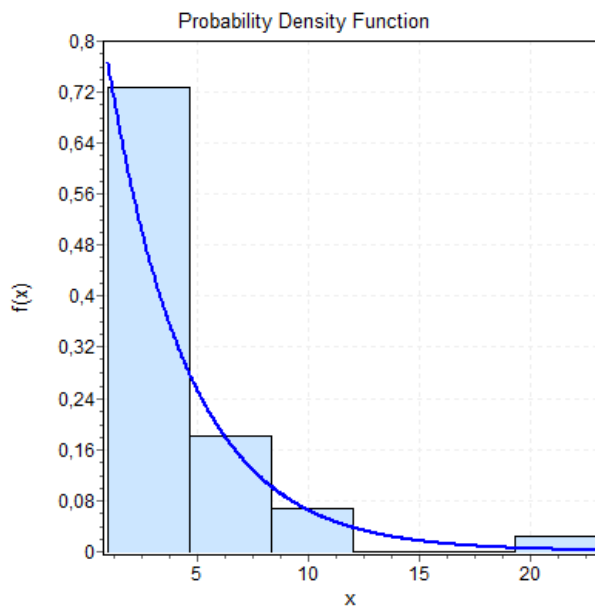


FIGURE C.7 – Histogramme des arrivés à la ligne 3

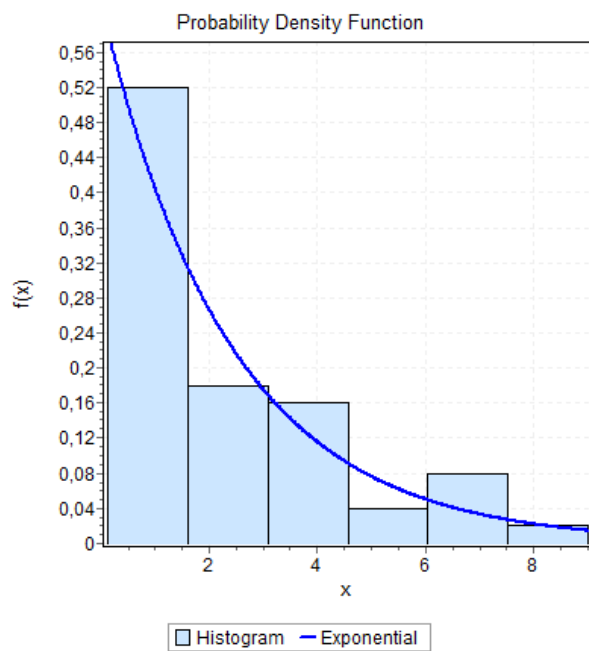


FIGURE C.6 – Histogramme du service encarteneuse 3

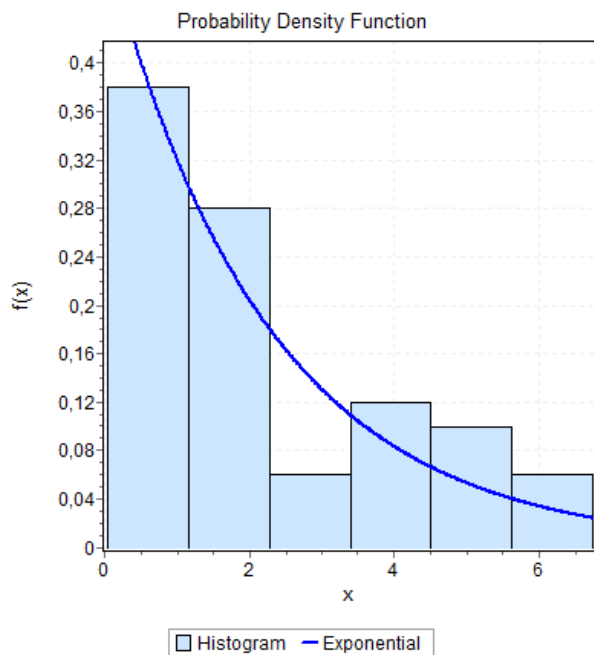


FIGURE C.8 – Histogramme du service encarteneuse 4

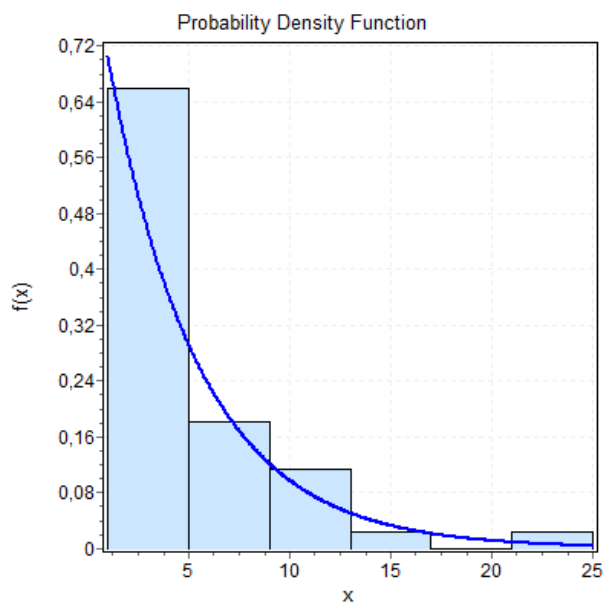


FIGURE C.9 – Histogramme des arrivés à la ligne 4

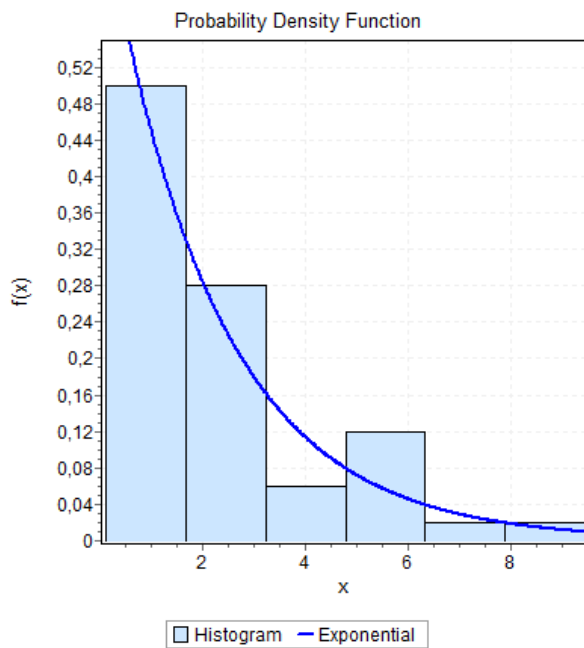


FIGURE C.10 – Histogramme du service encarteneuse 1

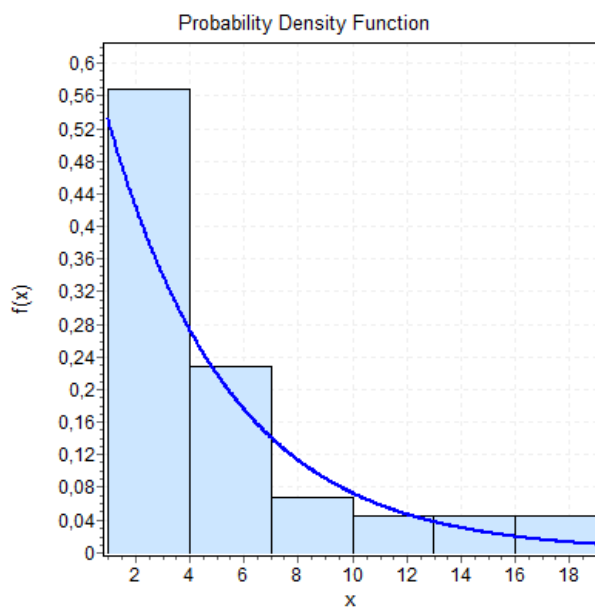


FIGURE C.11 – Histogramme des arrivés à la ligne 5

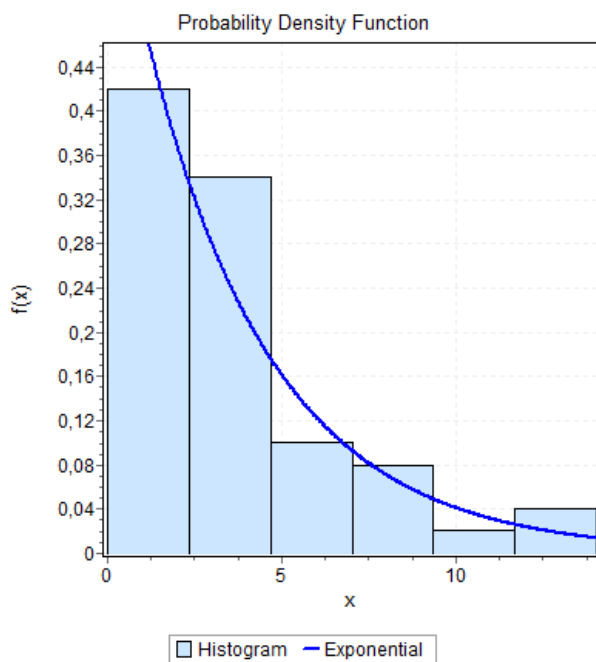


FIGURE C.12 – Histogramme du service encarteneuse 2

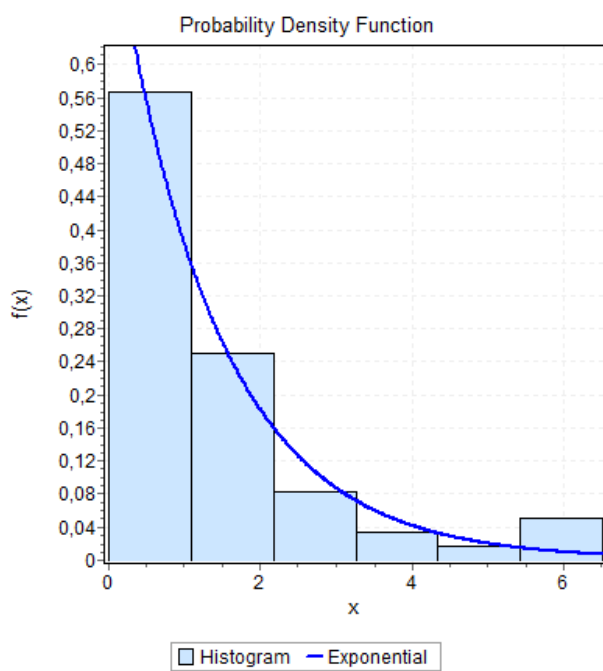


FIGURE C.13 – Histogramme du service palettiseur A (client1)

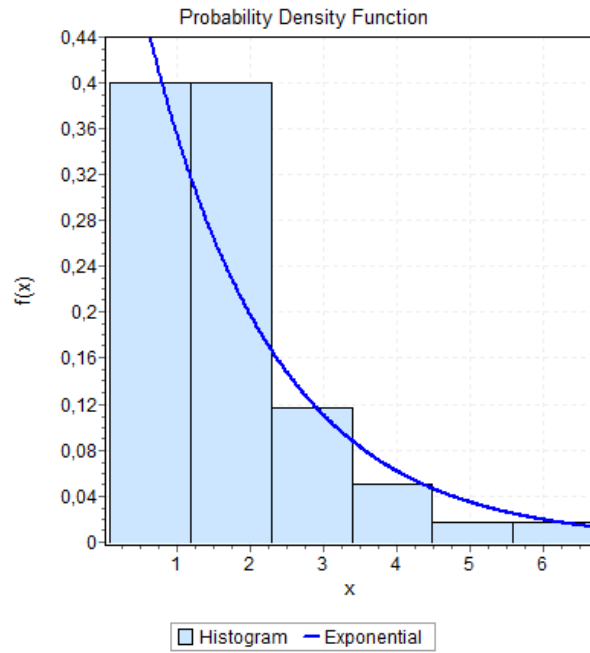


FIGURE C.14 – Histogramme du service palettiseur A (client2)

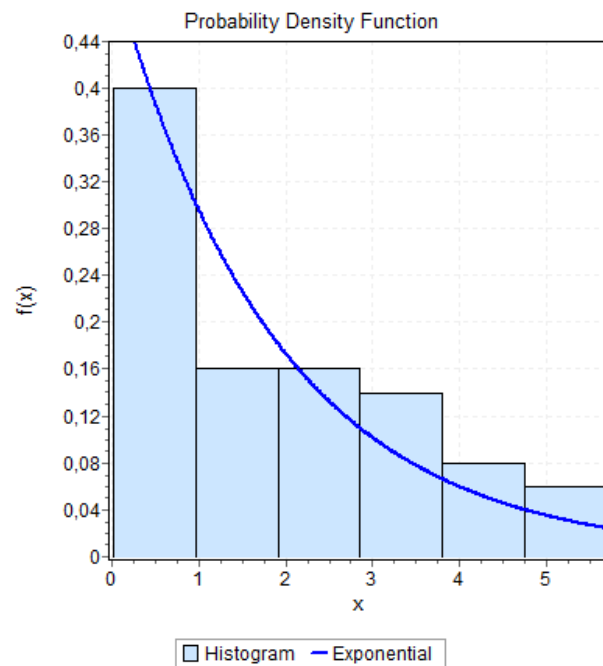


FIGURE C.15 – Histogramme du service palettiseur B (client1)

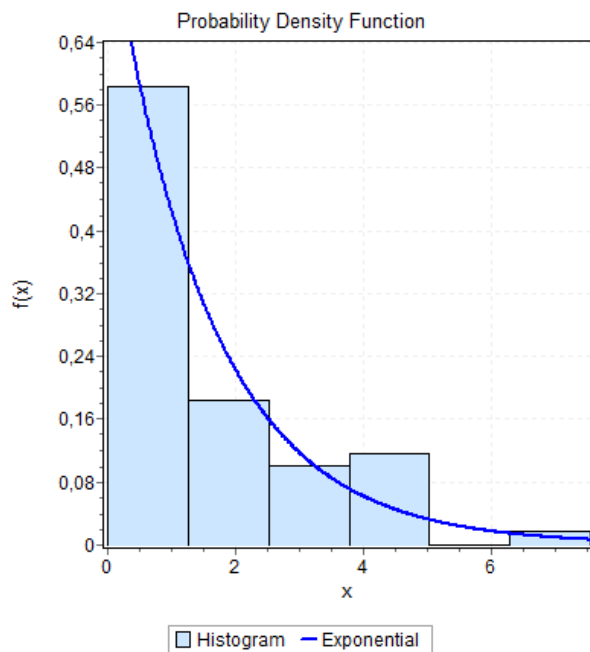


FIGURE C.16 – Histogramme du service palettiseur B (client2)

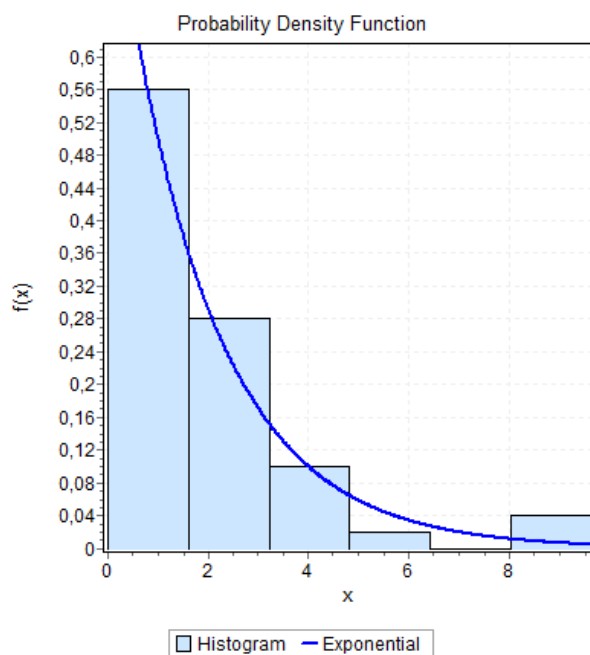


FIGURE C.17 – Histogramme du service palettiseur C (client1)

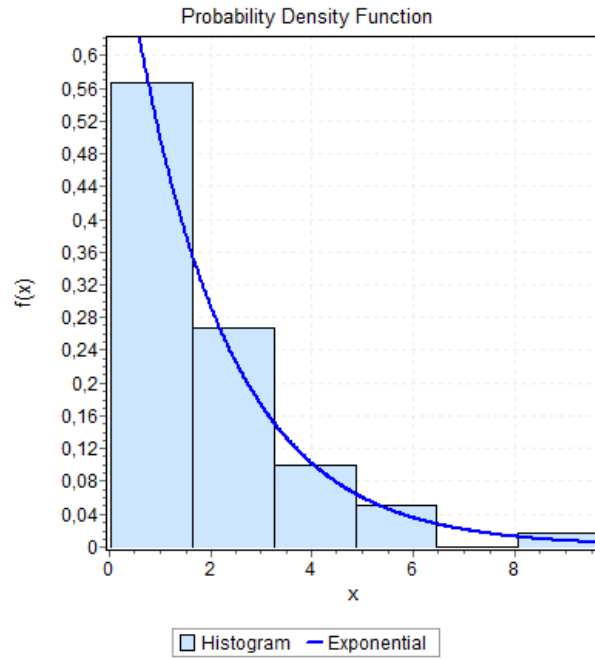


FIGURE C.18 – Histogramme du service palettiseur C (client2)

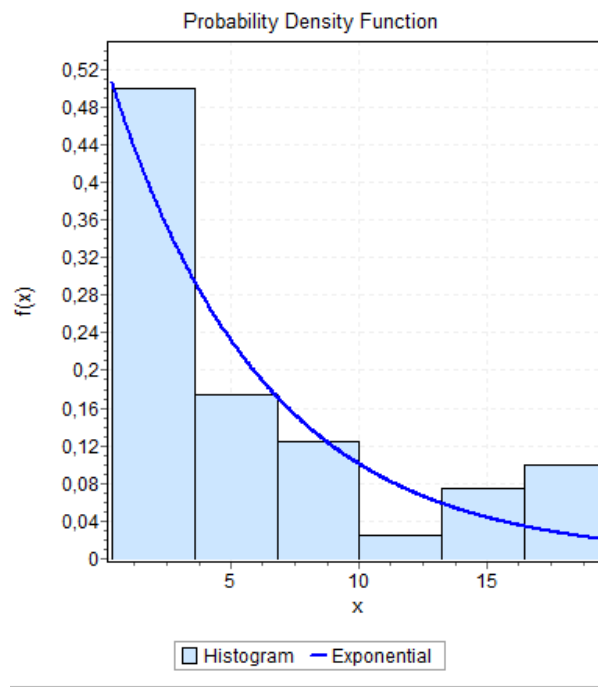


FIGURE C.19 – Histogramme des inter-arrivées à la chambre froide

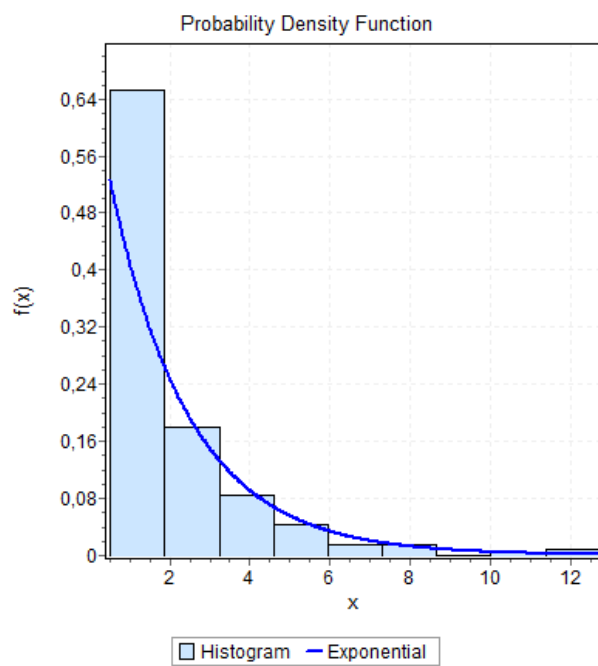


FIGURE C.20 – Histogramme du service chambre froide

Résumé

Vu la rude concurrence qui existe entre les entreprises ainsi que la demande de plus en plus diversifiée et exigences des clients, l'entreprise doit maîtriser la planification des meilleures stratégies.

Pour y remédier, la recherche opérationnelle propose des modèles conceptuels pour analyser des situations complexes et permet aux décideurs de faire les choix les plus efficaces.

L'objectif de notre travail est d'analyser le fonctionnement actuel de la chambre froide de CEVITAL afin d'évaluer ses performances, puis d'étudier son comportement en cas d'augmentation du flux d'entrée. Pour ce faire, nous avons proposé des modèles de prévision pour prévoir le comportement d'arrivée des palettes. Par la suite, nous avons modélisé les processus de production et stockage de la 'margarine' par un réseau de files d'attente ouvert. Dans le but de pouvoir simuler et calculer les performances du dernier processus (stockage), nous avons fait appel au logiciel de simulation à événement discret, JMT. Plusieurs variations du nombre moyen d'arrivée par jour, de la durée de séjour et de la capacité de stockage, ont été proposées afin d'estimer la capacité de stockage nécessaire dans la chambre froide, pour répondre à la croissance du trafic des marchandises. Enfin, un algorithme de recherche d'emplacements des palettes arrivées en stock, a été proposé et implémenté sous Netbeans Java, pour une meilleure gestion d'entrepôts.

Mots clés : Chambre froide, Margarinerie Cevital, JMT, Netbeans, Gestion d'entrepôt, G.Net.

Abstract

Given the tough competition between the companies and the demand for increasingly diversified and customer requirements, the company must master planning the best strategies.

To remedy this, operational research offers conceptual models to analyze complex situations and allows decision makers to make the most effective choice.

The aim of our study was to analyze the current functioning of the cold room CEVITAL to assess its performance and to study their behavior in case of increase of the input stream. To do this, we have proposed prediction models to forecast the arrival of pallets behavior. Thereafter we modeled the processes of production and storage 'margarine' by an open queuing network. In order to simulate and calculate the performance of the last process (storage), we used the simulation software to discrete event, JMT. Several variations of the average number per day of arrival, duration of stay and the storage capacity have been proposed to estimate the storage capacity required in the cold room, to meet the growing traffic of goods. Finally a search algorithm of locations arrivals pallets in stock, has been proposed and implemented in Java Netbeans for better warehouse management.

Keys words : Cold room, Margarinerie Cevital, JMT, Netbeans, Warehouse Management.