



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Béjaïa Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire de fin d'étude

en vue de l'obtention de diplôme de Master en Mathématique
Appliquées

Spécialité : Recherche Opérationnelle

Option : Modélisation mathématique et Évaluation des Performance des
Réseaux

Thème

*Elaboration d'une Politique
d'Approvisionnement en Matières
Premières au sein de l'UAB
d'EL-Kseur*

Présenté par :

M^r ATBA Redha

M^r ABBOU Houcine

Devant le jury composé de :

M ^r KHIMOUM	Noureddine	M.A.A	Univ.de Bejaia	président.
M ^r BRAHMI	Belkacem	M.C.B	Univ.de Bejaia	Encadreur.
M ^r ASLI	Larbi	M.A.B	Univ.de Bejaia	Examinateur.
M ^r TOUATI	Sofiane	M.A.B	Univ.de Bejaia	Examinateur.

Année Universitaire 2015 – 2016

✧ *Remerciements* ✧

À l'issu de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu le bon dieu le tout puissant de nous avoir donné la force pour réaliser ce modeste travail.

Pendant toute la durée de nos études et de ce projet, on a eu la chance de côtoyer, de rencontrer des gens réellement extraordinaires.

Qu'il nous soit permis ici de leur rendre humblement hommage et de les remercier pour tous ce qu'ils nous ont apporté : pour l'aide et les conseils qu'elles nous ont prodigués, pour leurs soutiens, dont on va citer :

- Notre promoteur D^r B. BRAHMI enseignant à l'université de Bejaia, d'avoir accepté de nous encadrer et pour ses orientations, conseils qui nous a prodigué tout au long de ce travail.
- Les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail M^r KHIMOUM Nouredine, ASLI Larbi et TOUATI Soufiane.
- Nos chères familles qui ont été toujours derrière nous.
- Tous nos amis et tous ceux qui ont étudié avec nous.

※ *Dédicaces* ※

je dédie ce travail à :

- Mes chers parents.
- Mes sœurs : Norhan, Inasse et mon frère Zakaria.
- A mon oncle Ahmed et ses enfants surtout Fatima.
- A toute la famille ” ABBOU ”.
- A tous mes amis.
- A toute ma Promotion de Master 2 RO, et tous mes enseignants.
- A tous ceux qui me connaissent.

ABBOU Houcine

※ *Dédicaces* ※

je dédie ce travail à :

- Mes chers parents.
- A toute la famille ” ATBA ”.
- A tous mes amis.
- A toute ma Promotion de Master 2 RO, et tous mes enseignants.
- A tous ceux qui me connaissent.

ATBA Redha

Table des matières

Liste des figures	IV
Liste des tableaux	VI
Introduction générale	1
1 Présentation de l'entreprise	3
1.1 Historique	3
1.2 Localisation	3
1.3 Missions et Objectifs	4
1.4 Organisation de l'entreprise	4
1.4.1 La direction de l'entreprise	6
1.4.2 Secrétariat	6
1.4.3 Département approvisionnement et transport	7
1.4.4 Département contrôle de qualité	8
1.4.5 Département gestion des stocks	8
1.4.6 Département d'exploitation	9
1.4.7 Département administration général	10
1.4.8 Département finance et comptabilité	10
1.5 Le processus de fabrication	11
1.6 Position de problème	12
2 Généralité sur la gestion des stocks	14
2.1 Introduction	14
2.2 Généralités	14
2.2.1 Définition du stock	14

2.2.2	Fonction du stock	15
2.2.3	Les différents types de stocks	16
2.2.4	Différents niveaux de stock	17
2.2.5	Utilités et inconvénients d'un stock	17
2.2.6	Les coûts de stock	18
2.2.7	Classification des stocks	19
2.3	Gestion des stocks	21
2.3.1	Définition	21
2.3.2	Variables de la gestion des stocks	21
2.4	Modèles de gestion des stocks	22
2.4.1	Modèles déterministes	22
2.4.2	Modèles stochastiques	24
2.4.3	Modèle dynamique de stock	28
3	Méthode de prévision	31
3.1	Lissage exponentiel(Brown)	32
3.1.1	Lissage exponentielle simple	32
3.1.2	Lissage exponentiel double	32
3.1.3	Lissage exponentiel de Holt	33
3.1.4	Lissage exponentiel de Holt-Winters	34
3.2	Méthode de Box et Jenkins	36
3.2.1	Modèle MA (1)	36
3.2.2	Modèle MA(q)	37
3.2.3	Modèle AR(1)	37
3.2.4	Modèle AR (p)	38
3.2.5	Processus ARMA (1,1)	38
3.2.6	Processus ARMA (p,q)	39
3.2.7	Processus ARIMA	40
3.2.8	Processus SARIMA	40
3.3	Test d'ajustement	41
3.3.1	Test de Khi-Deux	41
3.3.2	Test de Kolmogorov-Smirnov	42

4	Modélisation et approche de résolution	43
4.1	Modélisation statistique	43
4.1.1	Collecte des données	43
4.1.2	Choix des produits à étudier	46
4.1.3	Choix des matières premières à étudier	47
4.1.4	Étude prévisionnelle des produits et des matières premières	50
4.2	Etude statistique	63
4.2.1	Etude de consommation de l'Orge	63
4.2.2	Etude de consommation de Maïs	64
4.2.3	Etude de consommation de Soja	65
4.3	Modèle de gestion de stock choisi	66
4.3.1	Plan d'approvisionnement dynamique	67
4.3.2	Interprétation des résultats obtenus	73
4.3.3	Conclusion	74
	Conclusion générale	75
	Bibliographie	76

Table des figures

1.1	Organisation de L'entreprise	5
2.1	Courbe de classification des articles par la méthode ABC	20
2.2	Modèle de Wilson	23
2.3	Evolution du stock dans le cas d'un système (Q,r)	25
2.4	Evolution du stock dans le cas d'un système (R,T)	27
2.5	Représentation du problème dynamique (modèle de Wagner-Whitin)	29
4.1	Curbe cumulée croissante de la production	47
4.2	Curbe cumulée croissante de la consommation	49
4.3	série originale -Ponte -	51
4.4	série originale et série lissée et les prévisions de -Ponte -	52
4.5	Série originale -P/REPROD -	53
4.6	Série originale et série lissée et les prévisions de -P/REPROD -	55
4.7	Série originale -Orge -	56
4.8	Série originale et série lissée et les prévisions de -Orge -	57
4.9	Série originale - Maïs -	58
4.10	Série originale et série lissée et les prévisions de - Maïs -	59
4.11	Série originale -Soja -	60
4.12	Série originale et série lissée et les prévisions de -Soja -	61
4.13	Ajustement de la distribution de consommation de l'Orge	63
4.14	Ajustement de la distribution de consommation de Maïs	64
4.15	Ajustement de la distribution de consommation de Soja	65
4.16	Graphe de problème de transbordement	68

Liste des tableaux

4.1	Production "2014"	44
4.2	Production "2015"	45
4.3	Résultats de l'analyse ABC	46
4.4	Consommation des matières premières en "2014"	48
4.5	Consommation des matières premières en "2015"	48
4.6	Résultats de l'analyse ABC	49
4.7	Données de production -Ponte -	51
4.8	Paramètre de modèle	52
4.9	prévision de production -Ponte -	53
4.10	Données de production -P/REPROD -	54
4.11	Paramètre de modèle	54
4.12	Prévision de production -P/REPROD -	55
4.13	Paramètre de modèle	56
4.14	prévision de production - Orge -	57
4.15	Paramètre de modèle	58
4.16	Prévision de consommation-Maïs -	59
4.17	Paramètre de modèle	60
4.18	Prévision de consommation-Soja -	61
4.19	Comparaison des prévisions avec la réalité de Production	62
4.20	Comparaison des prévisions avec la réalité de Consommation	62
4.21	Les résultats obtenues pour le système (Q,r)	66
4.22	donées de Maïs	69
4.23	les coûts d'approvisionnement c_{ts} de Maïs	69
4.24	La table optimale	70
4.25	données d'Orge	70

4.26	les coûts d'approvisionnement c_{ts} d'Orge	71
4.27	La table optimale	71
4.28	donées de Soja	72
4.29	les coûts d'approvisionnement c_{ts} de Soja	72
4.30	La table optimale	73

Introduction générale

La Recherche Opérationnelle peut être définie comme l'ensemble des méthodes et techniques rationnelles d'analyse et de synthèse des phénomènes d'organisation utilisables pour élaborer de meilleures décisions. Elle propose des modèles conceptuels pour analyser des situations complexes et permet aux décideurs de faire les choix les plus efficaces [14].

Les problèmes de gestion des stocks demeurent les plus étudiés par les spécialistes en recherche opérationnelle qui tentent de maintenir, au niveau minimum les stocks, tout en gardant une certaine indépendance vis-à-vis des fournisseurs. La gestion des stocks est actuellement considérée comme une technique quantitative du moins dans les démarches fondamentales la caractérisant, à savoir :

- La prévision des entrées futures.
- L'approvisionnement de la quantité économique des commandes.
- La détermination du stock de protection et du niveau de réapprovisionnement ou de rétablissement des stocks.

Les objectifs de la gestion dans toute entreprise, grande ou petite quel que soit son domaine d'activité, se résument en la définition des articles et des produits nécessaires à son développement dès sa création, puis viendra dans un deuxième stade, l'arrêt de ce qui doit être stocké, et ce qui ne sera approvisionné que lors du besoin. Il faut enfin définir une politique et des méthodes de gestion.

L'unité des aliments de bétail (UAB) d'EL-Kseur envisage d'établir une politique rationnelle de gestion de ses stocks de matières premières afin de satisfaire ses objectifs, tout en minimisant les différents coûts de gestion.

L'objectif de ce travail est d'élaborer un plan d'approvisionnement pour l'UAB d'EL-Kseur et d'en tirer le modèle répondant le mieux aux objectifs fixés par les gestionnaire (le nombre de pénurie, le coût total de gestion).

On a fait appel aux méthodes de prévision pour dégager les quantités des matières premières à prévoir durant une année au sein de l'UAB.

On a proposé un modèle de gestion de stock qui répond aux exigences et objectifs des décideurs.

Notre travail comprend, une introduction, quatre chapitres et une conclusion générale.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise d'accueil UAB d'EL-Kseur, son organisation, ainsi que le rôle de chaque direction.

Dans le deuxième chapitre, nous introduisons les notions de bases sur la gestion des stocks et les différents modèles et politiques d'approvisionnement des stocks, ainsi que la méthode de classification ABC.

Le troisième chapitre traite les méthodes de prévisions, à savoir la méthode de lissage exponentielle et celle de Box et Jenkins, ainsi que des rappels sur les tests statistiques.

Le dernier chapitre est consacré à la partie pratique de notre travail, où nous avons réalisés ce qui suit :

1. Une collecte des données sur la consommation des matières premières, ainsi que la production des produits finis.
2. Application de la méthode ABC pour sélectionner les produits et les matières premières importants.
3. Proposition de modèle de prévision pour les matières premières suivant : Maïs, Orge, Soja, ainsi les produits finis : Ponte et P/Reprod.
4. Modélisation du problème d'approvisionnement des matières premières sélectionnées pour l'étude et puis résolution du problème.

Nous achèverons notre travail par une conclusion générale avec quelques perspectives.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

1.1 Historique

L'Office National des Aliments du Bétail (ONAB) a été créé par l'ordonnance N°60-19 du 06 Avril 1969 en vue d'améliorer la qualité et la quantité de l'aliment de tous les cheptels par la production et la commercialisation des aliments aux éleveurs, l'Office dispose de 24 unités de production implantées selon de zones d'élevage sur tout le territoire national.

Ces unités sont regroupées en trois groupes à savoir :

GAC : Groupe Avicole Centre.

GAE : Groupe Avicole Est.

GAO : Groupe Avicole Ouest.

L'Unité des Aliments de Bétail EL-Kseur, fait partie du Groupe Avicole Centre, est une entreprise industrielle et commerciale au capital sociale de 3.554,2 millions de dinars. Après un contrat signé le 25/02/1982 entre l'Office Nationale des Aliments de Bétail et KOMLEX société Hongroise pour le commerce des installations d'usine, elle à une capacité de production de 15 tonnes par heure.

1.2 Localisation

Elle est située à la sortie ouest de la ville d'EL-Kseur sur la route nationale N° 26 en direction de Sidi Aiche.

Elle est également très proche de la gare d'El-Kseur qui se trouve à moins d'un kilomètre, et à 26 kilomètres du port de Bejaia qui lui procure un grand avantage en matière d'approvisionnement en matières premières (maïs, soja, phosphate, complément minéral et vitaminés (cmv)...).

1.3 Missions et Objectifs

L'Unité des Aliments de Bétail d'El-Kseur est une entreprise industrielle qui a comme mission la fabrication et la commercialisation des aliments de bétail pour différents cheptels. [Avec sa capacité de production installée, et l'ensemble des facteurs de production (ressources humaines, marchandise, matière première et fournitures) en amont afin, de réaliser des stocks en aval (produits finis ou semi œuvrés fabriqués)].

Pour réaliser cette mission, l'entreprise a fixé certains objectifs, à savoir :

de satisfaire les commandes sur le marché, ainsi que d'améliorer les conditions de vente et permet d'atteindre sa capacité maximale de production, de ce fait, elle augmente parallèlement son chiffre d'affaire.

1.4 Organisation de l'entreprise

L'UAB d'El-Kseur dispose d'une direction et de différents départements divisés en plusieurs services, où chaque service est dirigé par un chef.

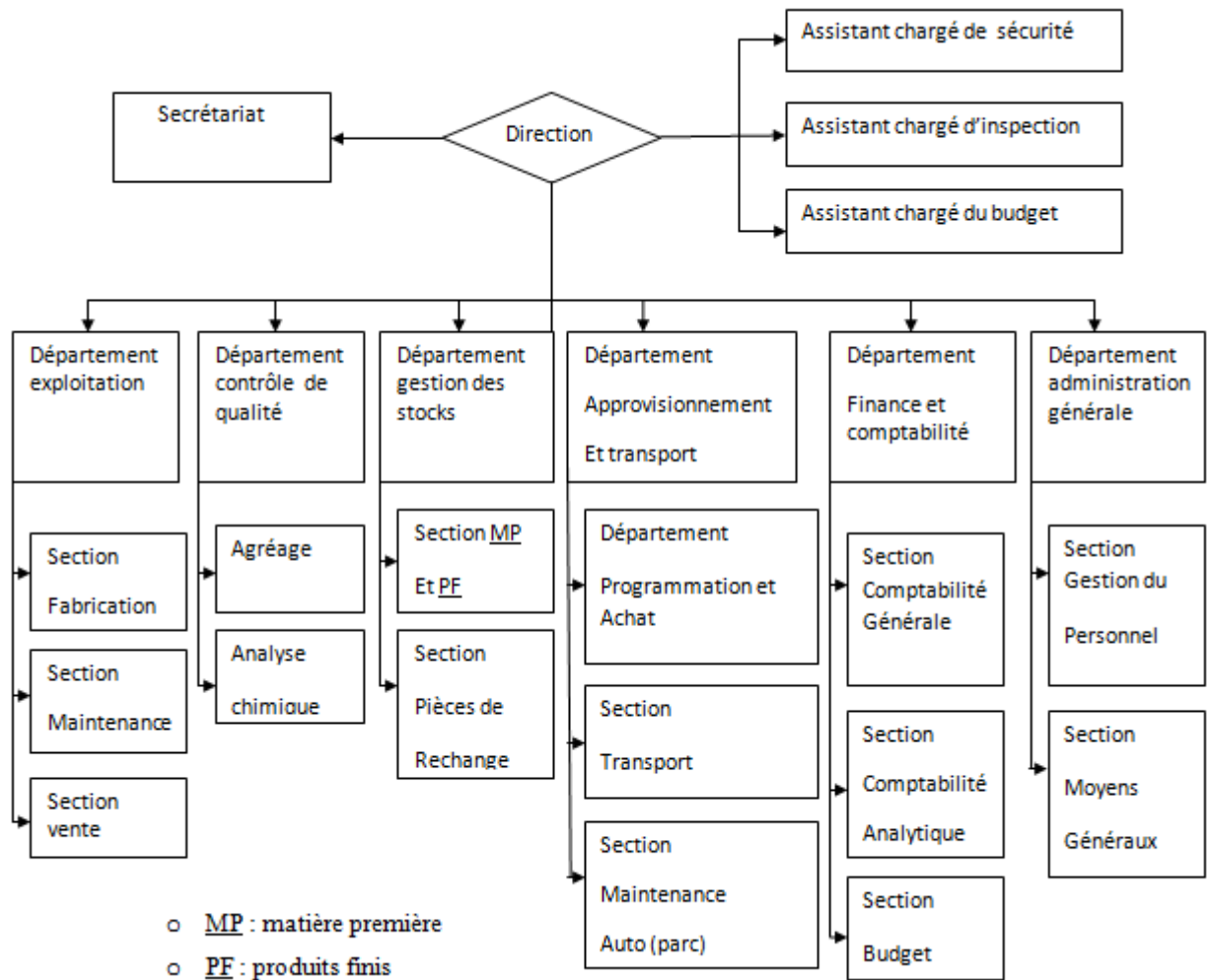


FIGURE 1.1 – Organisation de L'entreprise

1.4.1 La direction de l'entreprise

La direction de l'entreprise est administrée par un directeur qui a pour mission d'assurer la coordination entre divers départements et assure la bonne gestion de l'entreprise. Cette direction prend des décisions stratégiques du point de vue organisationnelle, et elle est assistée dans ses tâches par un :

- Assistant chargé de l'inspection.
- Assistant chargé de la sécurité.
- Assistant chargé de la gestion, et du contrôle budgétaire.

Assistant chargé de l'inspection

Cette assistance a pour mission de veiller à la conformité des circulations en matières de gestion en générale.

Assistant chargé de sécurité

Sa mission principale consiste à mettre en œuvre toutes les dispositions légales et régulières en vigueur en matière de protection des biens et des personnes.

Assistant chargé de la gestion et du contrôle budgétaire

Sa mission consiste à :

- Veiller au respect du budget annuel élaboré par l'unité,
- Contrôler toutes les mesures visant à améliorer les ratios de gestion et les insuffisances constatées,
- Veiller au respect des circulaires relatives à la gestion,
- Suivre et analyser les postes budgétaires,
- Assurer le fonctionnement de l'unité,

1.4.2 Secrétariat

Il est chargé de faire :

- Les liaisons et communication (les communications téléphonique).
- L'enregistrement du courrier et fax (départ et arrivée).
- La saisie de tous les documents administratifs.

1.4.3 Département approvisionnement et transport

Ce département est constitué de trois services :

- Service programmation et achat.
- Service transport.
- Service maintenance parc.

Service programmation et achat

- Etablit un programme d'achat des matières premières et furniture sur la base des besoins exprimés par les structures de l'unité, visé par le département gestion de stocks.
- Met à jour le journal des fournisseurs .
- Elabore le budget des approvisionnements.
- Réceptionne la matière première.

Service transport

- Assure un fonctionnement optimal des moyens de transport mis à la disposition de l'unité.
- Détermine les coûts de transport.
- Etablit les conventions signées avec les transporteurs privés.

L'unité dispose de dix camions :

1. 2 camions d'une capacité de 20 T chacun.
2. 5 camions d'une capacité de 10 T chacun.
3. 3 citernes d'une capacité de 20 T chacune.

Service maintenance parc

Le rôle de ce service est de réduire au minimum l'immobilisation des véhicules de transport en assurant au quotidien leurs maintenance.

1.4.4 Département contrôle de qualité

Son rôle est de veiller à l'application des programmes et des procédures relatives au contrôle de la qualité des matières premières et des produits finis au niveau de l'unité.

Ce département est subdivisé en deux structures :

- Service d'agrèage et pesage.
- Service laboratoire d'analyse.

1.4.5 Département gestion des stocks

En règle générale les stocks sont gérés physiquement et comptablement. La gestion physique consiste à enregistrer les flux (d'entrée et de sortie) des produits.

Ce département est subdivisé en deux services :

- Service matière première et produits finis.
- Service pièces de rechange et autres.

Service matière première et produits finis

- Il s'occupe du suivi des stocks des matières premières et les produits finis, soit en entrées ou en sorties, et ce en utilisant des fiches de stocks et des logiciels spécialisés.
- Reçoit la réception de la matière première qui se fait en collaboration avec le département contrôle qualité et service programmation des achats.
- Procède à l'enregistrement statistique des mouvements des stocks.

Ce service est assuré par deux magasiniers :

- Le magasinier matière première vrac.
- Le magasinier matière première sac.

Service pièces de rechange et autres

- Gère les entrées et les sorties des pièces de rechanges (équipements d'usines/ parc), les produits consommables et fournitures de bureaux.
- Enregistre chaque pièce ou fournitures sur les fiches de stocks.

1.4.6 Département d'exploitation

Ce département est subdivisé en trois services :

- Service production.
- Service de programmation des ventes.
- Service maintenance usine.

Service production

ses missions sont de :

- Réaliser les programmes de fabrication des aliments conformément aux normes.
- Déterminer les besoins en matières premières nécessaire selon le programme de production.
- Assurer une bonne utilisation des équipements.

Service de programmation des ventes

- Etablit les conventions de livraison.
- Etablit les besoins de chaque client.
- Etablit les programmes de distribution périodiques et quotidiens sur la base du besoin exprimé par la clientèle.
- Met à jour les dossiers des clients.

Service maintenance usine

Il est chargé de :

- Exécuter les opérations de maintenance dans les meilleurs conditions.
- Maintenir les équipements de production et assure leurs bon fonctionnement.
- Déterminer les besoins en pièces de rechanges en collaboration avec le département gestion de stocks.

1.4.7 Département administration général

Nous avons constaté qu'il comprend deux services qui ont pour mission d'organiser, contrôler, coordonner et gérer l'ensemble des facteurs de production pour atteindre les objectifs fixés par l'unité.

Ces services sont :

- Service gestion des moyens et ressources humaines.
- Service gestion des moyens communs.

Service gestion des moyens et ressources humaines

- Assure la gestion du personnel (dossiers administratifs, registres réglementaires...).
- Exploite, analyse et communique les statistiques du personnels (emploi, salaire, frais, ...).
- Arrête et suit les formations du personnel.

Service gestion des moyens communs

- Il s'occupe de la la gestion des moyens communs (parc, assurance, intervention, hygiène, sécurité des moyens de communications).
- Organise, gère et préserve les archives de l'unité.

1.4.8 Département finance et comptabilité

Il est partagé en deux services :

- Service comptabilité générale.
- Service budget et finance .

Service comptabilité générale

Enregistre tous les opérations comptables (commerciale, financière et administratif) conformément au Plan Comptable National(PCN).

Service budget et finance

Le budget de l'unité est basé sur la projection des ventes en fonction de la demande potentielle.

Il établit les plans suivants :

- Plan de distribution.
- Plan de consommation.
- Plan d'investissement.

1.5 Le processus de fabrication

Les différentes phases du processus de fabrication sont :

- La phase de broyage.
- La phase de dosage.
- La phase de granulation
- La phase de mélange.
- La phase d'extraction des produits finis

Les matières premières

Les matières premières qui composent les aliments sont : Mais, Sel, Calcaire, Tourteaux de Soja, Caroube, Phosphate, Son Gros, Blé tendu, Issues Composées, paille, Luzerne, Méthionine...

Les différentes gammes d'aliments

Les différentes gammes d'aliments dans l'unité sont :

Volaille

- Chaire :
 - démarrage.
 - Croissance.
 - Finition I.
 - Finition II.
- Ponte :

- Poule pondeuse I.
- Poule pondeuse II.
- Poule normale.
- Poule reproductrice.

Ruminant

- **Bovin :**
 - Jeune bovin.
 - Vache laitière.
- **Ovin :**
 - Ovin engraissement.
 - Brebis.

Aliment divers

Aliments : dinde, lapin, chèvre, souris, poisson, canard...

Les produits semis finis

Les produits semis finis ou des vitamines sont :

- CMV vache laitière.
- CMV bovin/ovine.
- CMV divers (dinde, lapin...).
- CMV anti-stress.
- CMV ponte reproductrice.
- CMV ponte.
- CMV finition.
- CMV DC DCP.

1.6 Position de problème

Vu la rude concurrence qui existe entre les entreprises ainsi que la demande de plus en plus diversifiée et exigeante des clients, l'entreprise doit maîtriser ses coûts, les processus de production, et planifier des stratégies de développement pour sa survie.

La recherche opérationnelle propose des modèles conceptuels pour analyser des situations complexes et permet aux décideurs de faire les choix les plus efficaces.

Les problèmes que la RO aider à résoudre sont soit stratégique (on peut citer le choix d'investir ou pas..) ou opérationnels (notamment l'ordonnancement, la gestion de stock, les prévisions de ventes...). Comme toute entreprise l' UAB est aussi soumise à cet environnement concurrentiel, qui pousse l'entreprise à gérer et organiser d'avantage sa production. Lors de notre stage effectué au sienne de l'unité UAB, on a pu visualiser le processus de production à partir des matières premières nécessaires pour la fabrication jusqu'à embarquement des produits finis dans des camions. Pour un client qui effectue sa demande d'un aliment quelconque, il sera servi dans les 15 à 20 minutes suivantes.

Le rôle de cette chaîne est de satisfaire les demandes des clients coté de quantité désirée et délai de livraison, d'où la nécessité d'un modèle de gestion de stock.

Chapitre 2

Généralité sur la gestion des stocks

2.1 Introduction

La compétitivité de l'entreprise peut être particulièrement affectée par sa gestion des stocks, ce qui est une raison suffisante pour y porter une grande attention. La gestion du stock permet de gérer les articles disponibles dans l'entreprise en vue de satisfaire les besoins à venir à l'aide d'outils logistiques et d'un système d'information performant pour l'organisation.

Ces besoins seront à satisfaire au bon moment, avec des quantités adéquates et d'une manière permettant la bonne utilisation du stock. Si l'on n'est pas capable de satisfaire un besoin à l'aide du stock correspondant, on parle de rupture de stock.

Tout l'art de cette gestion est d'avoir suffisamment de stock pour répondre correctement aux besoins et pas trop pour ne pas supporter les différents coûts du stock (coût d'acquisition, coût de stockage, coût de dévalorisation, etc...).

2.2 Généralités

2.2.1 Définition du stock

Un stock est l'ensemble des marchandises ou des articles cumulés dans l'attente d'une utilisation ultérieure plus au moins proche et qui permet d'alimenter les utilisateurs au fur et à mesure de leurs besoins sans leurs imposer les délais et les coûts d'une fabrication par des fournisseurs [14].

Un stock est une quantité d'articles (produits finis, composants, matière premières, ..) Ayant une valeur économique réservée pour une utilisation future.

2.2.2 Fonction du stock

Les stocks assurent des fonctions diverses autant que la diversité des organisations et de leurs politiques de gestion existantes, et les fonctions des stocks sont les différentes raisons qui justifient l'existence des stocks [8].

Les entreprises constituent des stocks pour différentes raisons, à savoir :

Réduction des coûts :

Dans ce contexte, les stocks permettent de réduire le nombre de commandes passées et ceci en commandant de grandes quantités de produits à la fois puis les stocker, ainsi on réduit sensiblement les coûts de passation de commandes. Les stocks offrent aux entreprises la possibilité d'acheter moins lorsque leurs prix augmentent, ainsi on réduit les prix d'achat des produits. Enfin, ils peuvent éviter des pertes importantes engendrées par les ruptures du processus de production.

Synchronisation des tâches :

Dès que l'activité d'une organisation atteint un certain niveau de complexité, sa gestion nécessite la synchronisation du fonctionnement de ses différentes machines.

Raisons de sécurité :

Lorsque les marchés sur lesquels on s'approvisionne sont caractérisés par une certaine instabilité (Conflit armes, conditions climatiques variables), il est de l'intérêt de l'entreprise de constituer des réserves (stocks) pour faire face aux imprévus. D'autre part, la demande des clients de l'entreprise est en général variable, un stock de sécurité est constitué pour faire face à cette variabilité.

2.2.3 Les différents types de stocks

Les stocks sont de types différentes .On distingue les types suivants :

Stocks des matières premières :

Ce sont les articles achetés par l'entreprise, réceptionnés, mais qui ne sont pas encore entrés dans le processus de production.

Stocks de marchandise :

Une réserve de produits finis qui sera vendu sans subir de transformations.

Stocks de matières consommables :

C'est des produits qui concourent directement ou indirectement à la fabrication.

Stocks de produits finis :

Produits fabriqués prêts à la vente.

En cours de fabrication :

Constitués des articles entrés dans le processus de transformation mais pas encore terminés. On les retrouve dans des stocks intermédiaires au pied des machines ou en transfert entre les machines.

Stocks de pièce de rechange :

Articles intermédiaires et sous-ensembles qui sont prêts à être livrés au titre du service après-vente.

Pièces de maintenance ;

articles utilisés en production qui ne font pas partie des produits fabriqués.

2.2.4 Différents niveaux de stock

La nature de la demande, des livraisons, le caractère dynamique d'un stock, ainsi que la politique de stockage ont engendré l'apparition de plusieurs types de stock tels que [11] :

Stock de sécurité :

C'est le niveau du stock d'un article permettant à l'entreprise d'éviter les conséquences de la rupture de stock en cas d'irrégularité de la livraison ou de la consommation élevée.

Stock minimum d'alarme :

Le stock minimum ou d'alerte qui doit être au moins égal à la quantité des matières à consommer pendant le délai d'approvisionnement, dans le cas où la demande est connue. Dans le cas aléatoire, le stock minimum est déterminé de manière à réduire le risque de pénurie.

Stock maximum :

C'est le plafond qu'on ne peut pas dépasser pour ne pas augmenter le coût de stockage. Il est l'équivalent de la demande annuelle antérieure [10].

Stock maximum = quantité commandée + stock de sécurité

Stock moyen :

Correspond à la moyenne entre le stock initial et le stock final, ou la consommation divisée par deux fois le nombre de commande :

Stock moyen = stock maximum / 2

2.2.5 Utilités et inconvénients d'un stock

✂ utilités

Un stock permet de :

- Gagner de l'argent, et cela en achetant à bas prix pour ensuite revendre plus cher.
- Assurer la consommation régulière d'un produit bien que sa production ne l'est pas.
- En achetant de grandes quantités, on bénéficie d'une réduction sur le prix unitaire.

- Se prémunir contre les aléas de livraison et permet aussi de parer rapidement aux conséquences fâcheuses d'accidents possibles qui peuvent se produire à n'importe quel moment [8].

Inconvénients

Après avoir constaté en quoi un stock est utile, il est nécessaire de connaître ses inconvénients :

- Immobilisation des moyens financiers importants.
- Immobilisation de surface, de stockage.
- Potentiel de risque (perte, détérioration, incendie, vol . . .)
- Les coûts engendrés par l'entretien et la protection des stocks.
- Coûts de maintien. Les stocks sont encombrants et nécessitent des espaces de stockage, du personnel pour la gestion, des frais de maintien (assurance, location des espaces de stockage, personnel, électricité . . . etc.).

2.2.6 Les coûts de stock

Les stocks représentent des coûts très élevés pour les entreprises, qu'on peut les classer en quatre catégories.

Coût d'achat :

C'est le prix qu'on paye pour acheter les produits mis en stock.

Coût de possession du stock

Le fait de garder des produits en stock nous conduit à assumer des coûts :

- Coûts de construction ou de location des entrepôts de stockage.
- Salaire des gardiens et du personnel chargé de gérer les magasins.
- Assurance des produits stockés.
- Dégradation des produits ou leur obsolescence.

Coût de lancement d'une commande

Pour stocker des produits, il faut d'abord les commander. La commande engendre des coûts : préparation de la commande, frais de communication, réception et transport de marchandise . . . etc.

Coût de pénurie

Les coûts de pénurie représentent les coûts susceptibles de survenir lorsqu'un article n'est pas disponible.

Les coûts de pénurie comprennent :

- La main d'œuvre inoccupée.
- L'équipement arrêté.
- Les coûts occasionnés par les changements dans le programme de fabrication .
- La perte de réputation.
- La perte de commande.
- Les coûts des procédures d'urgence pour accélérer les livraisons.
- Les coûts supplémentaires de sous-traitance pour respecter les délais.

2.2.7 Classification des stocks

Nécessité d'un classement

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. De même, dans un ensemble produit, la vis de diamètre 5 dont la valeur est faible ne sera pas gérée de manière identique au corps du produit dont la valeur est très importante. On note donc à ce niveau qu'il est nécessaire d'adopter une classification des produits selon deux critères :

- * Critère de destination (fourniture de bureau, production, service après-vente).
- * Critère de valeur (valeur cumulée des articles apparaissant dans les mouvements de stocks ou valeur en stock) [7].

Classement ABC

La méthode ABC est un modèle simple de classement des articles. Elle permet de classer les flux et les stocks d'articles en fonction de certains critères.

- Le chiffre d'affaire (valeur de vente des stocks pendant une période).
- valeur du stock.
- La surface ou le volume consommé.

Les stocks sont repartis en trois classes :

Classe " A " : 5 à 10% des articles consommés représentent 60 à 75% de la valeur totale des stocks.

Classe " B " : 25 à 30% des articles consommés représentent 25 à 30% de la valeur totale des stocks.

Classe " C " : 60 à 70% des articles consommés représentent 5 à 10% de la valeur totale des stocks.

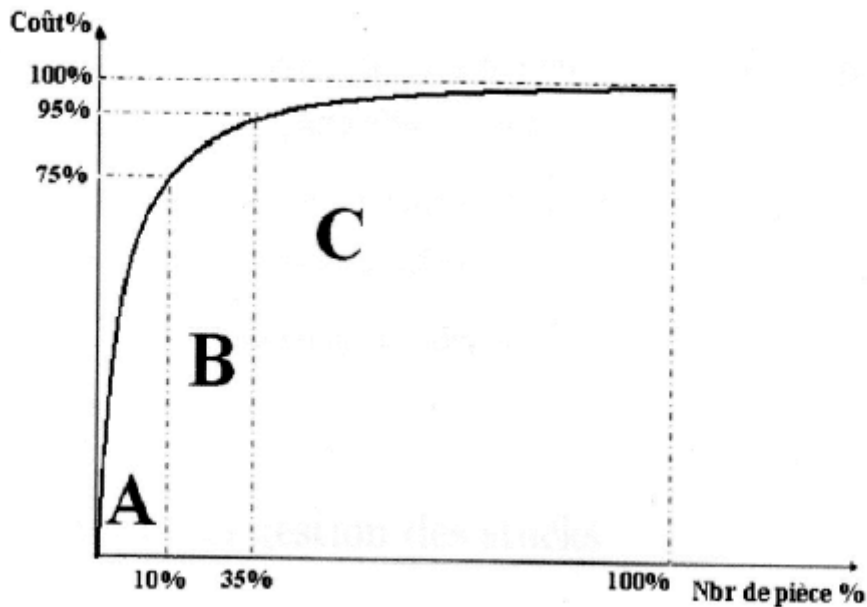


FIGURE 2.1 – Courbe de classification des articles par la méthode ABC

La démarche de la classification ABC est la suivante [2] :

1. Classer les articles par ordre décroissant du critère utilisé.
2. Calculer les pourcentages cumulés du critère utilisé.
3. Déterminer les fréquences cumulées, exprimées en pourcentage sur le nombre d'articles.
4. Déterminer les trois classes A, B et C.

2.3 Gestion des stocks

2.3.1 Définition

A première vue, le mot gestion des stocks fait penser à toute méthode mathématique ou économique ayant pour but de mener à bien le fonctionnement d'une réserve d'articles donnés. Cependant, le problème en question doit être défini d'une manière exacte et qui représente fidèlement la situation réelle avant de pouvoir choisir une méthode de résolution ou de modélisation à utiliser. De ce fait, nous avons jugé nécessaire d'introduire les quatre éléments les plus essentiels d'un stock :

- **Le produit** : tout article susceptible d'être conservé pour une utilisation ultérieure est un article de stock.

- **Le fournisseur** : représenté par toute personne ou établissement qui peut satisfaire la demande en produits d'un particulier ou une entreprise donnée.

- **Le stock** : c'est un ensemble de produits ou articles conservés dans un emplacement donné et dans des conditions bien précises.

- **L'utilisateur** : c'est les consommateurs des produits stockés (personnes ou entreprises).

2.3.2 Variables de la gestion des stocks

Étant lié directement à l'activité humaine, le stock est un domaine où la plupart des paramètres sont variables. Pour cela, on ne peut parler des stocks sans introduire quelques variables jugées importantes.

- **Délai de livraison** : C'est le temps qui s'écoule entre l'instant où la commande est lancée et la date de disponibilité physique des produits sur le lieu de stockage. Il dépend

du fournisseur et du transporteur.

Délai de livraison = Date de réception - Date de commande

- **La demande** : C'est la somme des produits que les consommateurs sont disposés à acquérir en un temps et un prix donné [5].

Elle constitue l'élément directeur du système de stockage. Elle peut être dépendante ou bien indépendante du temps, stationnaire ou dynamique. Elle peut apparaître seulement dans des points précis de temps ou tout le long d'intervalles finis ou bien infinis. La demande peut aussi être discrète (cas de pièce électroniques) ou bien continue (cas de demande en gaz, eau...) [13].

- **L'approvisionnement** : c'est l'acte de passer une commande d'une certaine quantité d'article.

2.4 Modèles de gestion des stocks

Il existe dans la littérature plusieurs modèles de stocks. On parlera dans cette partie de deux grandes catégories, il s'agit des modèles déterministes et les modèles stochastiques.

2.4.1 Modèles déterministes

On parle de modèle déterministe de gestion des stocks, lorsque la demande et le délai d'approvisionnement sont connus à l'avance.

Modèle de Wilson

Appelé aussi modèle de la quantité économique de la commande (EOQ : Economic Order Quantity). C'est l'un des premiers modèles développés pour la gestion des stocks, mais qui reste toujours très utilisé, pour sa simplicité et la stabilité des solutions fournies par cette méthode. Dans ce modèle on suppose que [6].

- La demande est connue et constante dans l'intervalle de temps de gestion.
- Il n'existe pas de rupture de stock.
- Le délai de livraison est indépendant de la demande et la quantité de commande est estimable. Le but du gestionnaire du stock est de déterminer la quantité à commander Q qui minimise le coût total annuelle de gestion :

$$C_T = C_A + C_L + C_P,$$

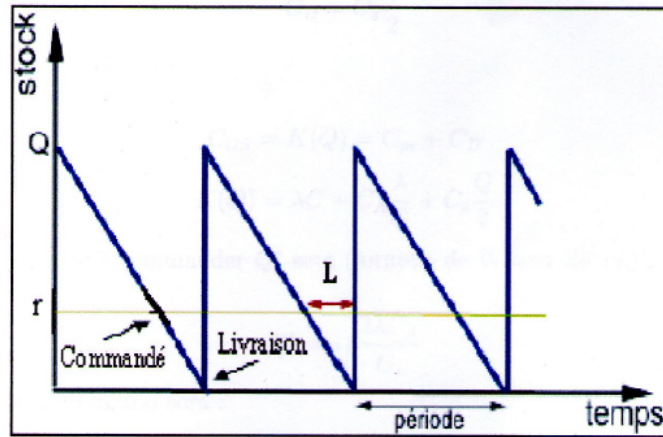


FIGURE 2.2 – Modèle de Wilson

où :

C_A : coût d'achat annuel = la demande annuelle (λ) * le prix unitaire de l'article (p) ;

C_L : coût de réapprovisionnement = nombre de commande (λ/Q) * coût de lancement d'une commande (h) ;

C_P : coût de possession du stock = stock moyen ($\frac{Q}{2}$) * coût de stockage d'une unité en stock (c_s).

Le modèle mathématique à résoudre est de minimiser la fonction suivante par rapport à

Q :

$$C_T = \lambda * p + \left(\frac{\lambda}{Q}\right)h + \left(\frac{Q}{2}\right)(c_s)$$

La quantité optimale à commander Q^* (quantité de Wilson) est :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2h\lambda}{C_s}}$$

Modèle pour plusieurs objets

Supposons que le stock en question est constitué de plusieurs articles. Il existe dans ce cas plusieurs type de contraintes qui peuvent les relier. Parmi ces derniers on cite celles liées à :

- La capacité de stockage.
- Le maximum sur le capital à investir.

- Le nombre maximal de commandes susceptibles d'être supportées par l'entreprise.

S'il n'existe aucune contrainte reliant les différents objets, alors la quantité optimal à commander Q_j du j ème article est la suivante :

$$Q_j^* = \sqrt{\frac{2h_j\lambda_j}{t_j p_j}}$$

où :

λ_j : Demande annuelle du j ème article.

h_j : Coût unitaire de réapprovisionnement du j ème article.

$t_j p_j$: Coût unitaire de possession en stock du j ème article.

2.4.2 Modèles stochastiques

Pour ces modèles la demande et/ou le délais de livraison ne sont pas connus de manière exacte (aléatoire).

L'objectif tracé est d'atteindre un certain niveau de service ou de minimiser le coût total de gestion.

Le problème consiste à déterminer, pour un niveau de service donné[3] :

- La quantité à commander.
- Le moment de lancer la commande.

Modèle à point de commande (Q, r)

Dans ce système, on définit un niveau de déclenchement de commande. Q représente le volume de commande qui est fixe et indépendant de la commande formulée. Par contre, le moment de lancer la commande dépend des fluctuations de la demande, donc du niveau de stock à chaque instant.

Une commande de quantité Q est lancée dès que le niveau du stock atteint le point de commande r (stock d'alerte).

L'inconvénient de ce système est la connaissance continue de l'état du stock et dans ce cas les entreprises automatisent leurs système en utilisant des fiches de stock.

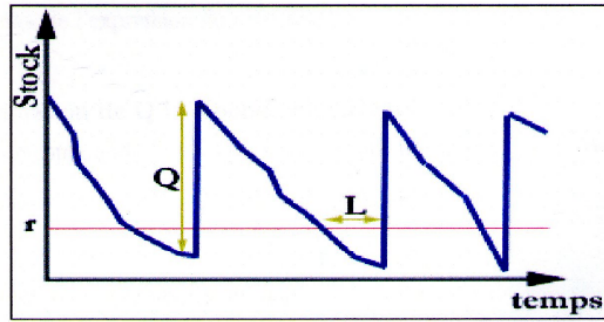


FIGURE 2.3 – Evolution du stock dans le cas d'un système (Q,r)

a) Calcul du point de commande

On suppose que le volume de commande est déjà connu, calculé par le modèle de Wilson. Le point de commande doit être calculé de telle sorte qu'il n'aura pas de pénurie durant le délai de livraison L .

Soit la variable aléatoire D : "la demande ponctuelle qui suit une loi normale de paramètres (μ_D, σ_D) ".

f : la fonction densité de la variable aléatoire D .

L : le délai de livraison supposé constant.

On définit la variable aléatoire :

X : "la demande durant le délai de livraison L ".

$X = \sum_{i=1}^n D = LD$; X suit la loi normale de paramètres μ_X et σ_X .

Calcul de r en connaissance du risque de rupture de stock α :

α = Probabilité (la commande durant L dépasse r) = $P(x > r)$.

$P(X \leq r) = 1 - \alpha$, où $1 - \alpha$ est appelé niveau de service.

Alors, on aura à la fin : $r = \mu_X + Z_{1-\alpha} * \sigma_X$

donc le stock de sécurité est alors :

$$S = r - \mu_X = Z_{1-\alpha} * \sigma_X$$

où $Z_{1-\alpha}$ est la quantité associée à la loi normale centrée réduite.

b) Calcul de niveau de service

✓ Cas 1 :

Si on connaît le nombre d'années n , où on a une seule rupture de stock.

on a :

$\alpha(\lambda/Q) = (1/n)$, avec $(\frac{\lambda}{Q})$ est le nombre de commandes,

d'où le risque de rupture de stock est : $\alpha = Q/(\lambda n)$

Détermination de Q et r conjointement de façon à minimiser le coût total de gestion :

Soit T le coût de pénurie unitaire d'une unité de l'article durant la période de gestion.

Alors, le coût total de gestion est :

$$C_T(Q, r) = \lambda * p + (\frac{\lambda}{Q}) * h + (\frac{Q}{2} + r - \mu_X) * c_s + \pi * (\frac{\lambda}{Q}) * \int_r^{+\infty} (x - r) * f(x) dx$$

On calcule Q et r de telle sorte à minimiser $C_T(Q, r)$

La dérivée par rapport à Q est :

$$\frac{dC_T}{dQ} = -\frac{\lambda h}{Q^2} + \frac{c_s}{2} - \frac{\lambda \pi}{Q^2} \int_r^{+\infty} f(x) dx$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2\lambda(h\pi \int_r^{+\infty} f(x) dx)}{c_s}}$$

La dérivée par rapport à r est :

$$\frac{dC_T}{dr} = c_s - \frac{\lambda \pi}{Q} \int_r^{+\infty} f(x) dx = 0$$

$$\Rightarrow \int_r^{+\infty} f(x) dx = \frac{c_s Q}{\pi \lambda} = \alpha, \text{ avec } \alpha \text{ est le risque de rupture.}$$

$$\Rightarrow P(X > r) = \frac{c_s Q}{\pi \lambda}$$

$$, r = \mu_X + \sigma_X Z_{1-\alpha}.$$

✓ **Cas 2 : Détermination de Q et r indépendamment**

X suit une loi normale de paramètres μ_x et σ_x on aura :

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda(h\pi \int_r^{+\infty} (x-r)f(x) dx)}{c_s}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\int_r^{+\infty} f(x) dx = \frac{c_s Q}{\pi \lambda} = \alpha \dots\dots\dots(2)$$

Cette paire d'équations peut être résolue par une procédure itérative.

On peut initialement fixer $Q = Q_{Wilson} = \sqrt{\frac{2h\lambda}{c_s}}$ et calculer par la suite r à partir de la relation (2).

Ensuite, on utilise cette valeur de r en 1 pour avoir une meilleure estimation de Q , ce processus est répété jusqu'à ce que on atteint un certain niveau de service fixé par le décideur.

le modèle à révision périodiques (R, T)

Ce modèle est appelé aussi modèle de stock avec rechargement. Pour ce modèle, les commandes sont placées à des intervalles réguliers T et leurs volumes varient d'une révision à une autre.

R : le niveau de rechargement.

T : la période (fixe).

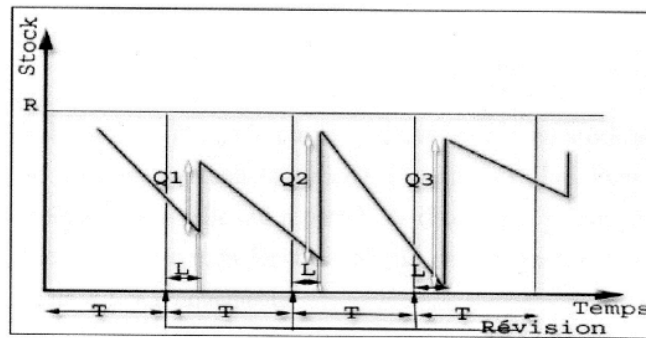


FIGURE 2.4 – Evolution du stock dans le cas d'un système (R, T)

Les calculs utilisés dans le système (Q, r) peuvent être utilisés dans ce système avec les modifications suivantes :

- Dans le modèle (R, T) , le contrôle du stock n'est pas nécessaire entre les périodes de révision par contre dans le modèle (Q, r) le stock est contrôlé d'une manière continu.
- Pour une période de révision T , le niveau de rechargement R détermine le niveau de service offert par le système.

Calcul de niveau de rechargement R

Pour déterminer R dans le système (R, T) , on procède de la même façon dans le modèle (Q, r) pour calculer r , sauf que l'on doit remplacer la densité de la fonction demande pendant L par la fonction de densité de la demande ponctuelle durant $(T + L)$.

Soit la variable aléatoire D : demande par unité de temps, avec D suit une loi normale de paramètres μ_D et σ_D .

Considérant la variable aléatoire X : demande durant $T + L$, avec L constant et donc X suit une loi normale de paramètres μ_X et σ_X ,

avec $X = D(T + L)$.

et : $\mu_X = (L + T)\mu_D$

$\sigma_X = \sqrt{T + L}\sigma_D$

Si on exige un niveau de service $1 - \alpha$, alors on aura :

$$P(X \leq R) = 1 - \alpha$$

$$\Rightarrow P\left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \leq \frac{R - \mu_X}{\sigma_X}\right) = 1 - \alpha$$

on pose :

$$Z = \frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \rightsquigarrow \mathcal{N}(0, 1).$$

Alors, on aura :

$$P(Z \leq \frac{R - \mu_X}{\sigma_X}) = 1 - \alpha,$$

d'où : $R = \mu_X + \sigma_X Z_{1-\alpha} = (L + T)\mu_D + \sqrt{T + L}\sigma_D Z_{1-\alpha}$

Donc le niveau du stock de sécurité est : $S = R - \mu_X = \sqrt{T + L}\sigma_D Z_{1-\alpha}$

2.4.3 Modèle dynamique de stock

Le modèle dynamique suppose un examen périodique du niveau stock. Une telle approche est particulièrement adaptée à la modélisation des systèmes où la demande moyenne n'est pas constante dans le temps, mais présente, par exemple, des variations saisonnières [4].

Considérons le problème de la gestion d'un seul article pendant T périodes consécutives et que les conditions suivantes soient vérifiées :

- La demande d_t durant la période t est connue pour les T périodes de planification.
- Le coût de production de x_t unités pendant la période t est égal à

$$C_t(x_t) = \begin{cases} 0 & \text{si } x_t = 0 \\ K_t + c_t x_t & \text{si } x_t > 0, \end{cases}$$

où $K_t \geq 0$ est le coût de réapprovisionnement pour la période t et $c_t \geq 0$ est le coût unitaire de production.

- Les pénuries ne sont pas autorisées, mais la demande de la période t peut être satisfaite aussi bien à partir des stocks disponibles au début de la période de production de cette période.
- A la fin de chaque période t , le niveau y_t du stock est observé et un coût de stockage $h_t y_t$ est encouru, avec $h_t \geq 0$.
- Les stocks initiale y_0 et finale y_T sont nuls.

Le calcul d'un plan de production optimale revient à déterminer, pour chaque période t , la quantité x_t à produire de manière à satisfaire sans retard la demande tout en minimisant la somme des coûts de réapprovisionnement et de stockage pour les T périodes de la planification.

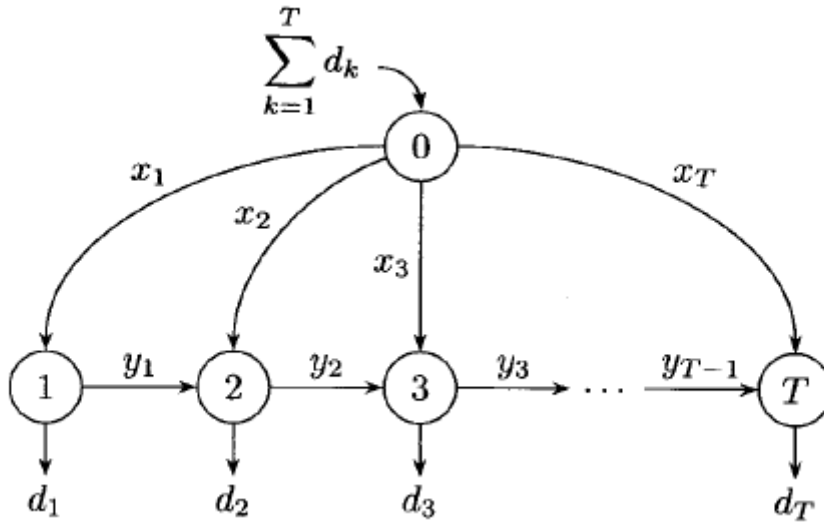


FIGURE 2.5 – Représentation du problème dynamique (modèle de Wagner-Whitin)

Dans ce graphe les sommets 1 à T représentent les différentes périodes de planification et le sommet 0 est une source auxiliaire dont la disponibilité D est égale à la somme des demandes ($D = \sum_{k=1}^T d_k$). Les arcs issus de ce sommet modélisent les productions x_t de chaque période et leur coût d'utilisation est $K_t(\delta x_t) + c_t x_t$. Les arcs reliant deux sommets consécutifs t et $t+1$ correspondent aux quantités y_t stockées d'une période à l'autre qui ne dépasse pas la capacité de stock S et leur coût unitaire d'utilisation est h_t .

Un plan de production optimale correspond à la solution du problème de transbordement [4] :

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= \sum_{t=0}^T (K_t \delta_t + c_t x_t + h_t y_t) \\
 \text{s.c } y_t &= y_{t-1} + x_t - d_t & t = 1, 2, \dots, T \\
 0 &\leq y_t \leq S, & t = 1, 2, \dots, T-1 \\
 0 &\leq x_t \leq S, & t = 1, 2, \dots, T \\
 y_0 &= 0, \quad y_T = 0
 \end{aligned}$$

Supposons que le stock est vide au début de la période t , nous pouvons calculer le coût c_{ts} associé à la production, pendant cette période, de la quantité nécessaire à satisfaire la demande jusqu'à la fin de la période s . Ce coût est égale à

$$c_{ts} = K_t + c_t \sum_{k=t}^s d_k + \sum_{k=t}^{s-1} (h_k \sum_{l=k+1}^s d_l) \quad 1 \leq t \leq s \leq T \quad (1)$$

De plus, notant j^* le coût d'un plan optimale de production et j_t celui d'une solution optimale pour les périodes t à T en supposant nuls les stocks au début de la période t et à la fin de la période T , le coût optimale j^* est égale à j_1 et les différents grandeurs j_t sont obtenues en résolvant la récurrence [4] :

$$J_{T+1} = 0 \quad (2)$$

et

$$J_t = \min_{t \leq s \leq T} c_{ts} + J_{s+1} \quad t = T, T-1, \dots, 1 \quad (3)$$

L'algorithme de Wagner-Whitin défini par les relations 1, 2 et 3 correspond à une forme particulière de programme dynamique où un seul état est examiné à chaque étape (celui correspondant à un stock vide en début de période) et où les transitions n'ont plus toujours lieu d'une période à la suivante. En effet, la décision optimale de l'étape t , notée $u^*(t)$, représente la dernière période dont la demande sera satisfaite à l'aide de la production de la période t . ainsi, si $u^*(t) = s$, une nouvelle production ne peut prendre place avant le début de période $s+1$, moment où le stock atteint, à nouveau, la valeur zéro.

Chapitre 3

Méthode de prévision

Face à la complexité croissante des organisations et de leur environnement, les gestionnaires cherchent à améliorer la qualité de l'information et des décisions qui résultent. C'est dans ce contexte que les méthodes de prévision se sont développées depuis 30 ans. Le but du décideur est d'atténuer les risques ou encore pour mieux saisir son environnement. 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 des ressources humaines, financières ou matérielles (prévision à long terme)[1].

Faire des prévisions c'est déterminer $Y_{T+1}, Y_{T+2}, \dots, Y_{T+K}$, avec $K > 1$, à partir de l'observation de Y_1, Y_2, \dots, Y_T . Cette prévision nous la noterons $\hat{Y}(K)$.

Une série chronologique

Une série chronologique (Y_t) est une suite d'observations indexées par un ensemble ordonné $1, 2, \dots, T$.

Une série chronologique est stationnaire si elle est la réalisation d'un processus stationnaire. Cela implique que la série ne comporte ni tendance ni saisonnalité, donc elle est homogène par rapport au temps. Le choix d'une méthode de prévision repose sur l'ensemble d'information, c'est-à-dire l'information disponible et que l'on veut exploiter. L'origine de prévision est T et l'horizon de prévision est h . On veut prévoir la valeur future inconnue Y_{T+h} .

3.1 Lissage exponentiel(Brown)

3.1.1 Lissage exponentielle simple

Cette méthode de lissage due à Brown s'adapte aux cas où la série peut être ajustée à une droite originale au voisinage de T. C'est-à-dire la série ne présente ni tendance ni saisonnalité. Soit Y_1, Y_2, \dots, Y_T la série chronologique[1].

Le modèle va s'écrire :

$$Y_t = a_t + \varepsilon_t,$$

Où : a_t :est une forme déterministe(connu).

ε_t : la composante irrégulière (résidu).

L'objectif est d'estimer le niveau a_t de la série ; cette estimation notée Y_{T+1} sera prise comme prévision à l'instant (T + 1).

Nous noterons Y_T la prévision. L'idée de Brown est d'affecter aux valeurs récentes de la série un poids plus important. Alors , on aura :

$$Y_T = \sum_{j=0}^{T-1} \alpha^j (1 - \alpha) Y_{T-j}$$

3.1.2 Lissage exponentiel double

Ce lissage est utilisé quand la série chronologique présente une tendance. Le modèle s'écrit au voisinage de T comme suit [1] :

$$Y_t = a_0 + (t - T)a_1 + \epsilon_t$$

La prévision :

$$\hat{Y}_T(K) = a_0(T) + K a_1(T)$$

Il reste à déterminer $a_0(T)$ et $a_1(T)$.

$a_0(T)$ et $a_1(T)$ sont déterminés en minimisant l'erreur quadratique

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

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

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

Avec :

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

Pour utiliser ces formules, il faut avoir des valeurs initiales. On prend, en général :

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

Choix du paramètre de lissage Il suffit de trouver α pour trouver λ et μ .

α est déterminé par la valeur qui minimise la somme des carrés de l'erreur :

$$Q(\alpha) = \sum_{t=2}^T (Y_t - \hat{y}_{t-1})^2$$

3.1.3 Lissage exponentiel de Holt

Supposons que la série Y_t ne présente pas de saisonnalité mais a une tendance linéaire. On veut estimer le niveau et la tendance actuels. Nous définissons ici la tendance comme étant la différence entre le niveau actuel et le niveau précédent [1].

Le modèle s'écrit :

$$Y_t = a_0 + (t - T)a_1 + \epsilon_t$$

La prévision à l'horizon K est de la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T)$$

Les formules de mise à jours sont les suivantes :

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

On supprime la relation qui existe entre λ et μ à travers α . Les deux paramètres λ et μ deviennent indépendants.

Pour initialiser l'algorithme, on prend :

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

Choix des paramètres de lissage λ et μ

Pour déterminer λ et μ On minimise l'erreur quadratique $Q(\lambda, \mu) = \sum (Y_t - \hat{Y}_{t-1})^2$ en faisant varier λ et μ par pas de 0.1, le couple (λ, μ) qui donne le plus petit $Q(\lambda, \mu)$ est choisi comme paramètre de lissage .

3.1.4 Lissage exponentiel de Holt-Winters

Cette méthode est une généralisation de la méthode de Holt. Elle modélise une série qui dispose d'une tendance et une saisonnalité. Il existe deux manières pour combiner la tendance et la saisonnalité :

Modèle additif

S'écrit :

$$Y_t = a_0 + (t - T)a_1 + S_t + \epsilon_t$$

Sa prévision s'écrit comme suit :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+k} \quad , 1 \leq k \leq s$$

Les formules de mise à jour sont :

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

Modèle multiplicatif

S'écrit :

$$Y_t = [a_0 * (t - T)a_1] * s_t * \epsilon_t$$

La prévision est alors de la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = [\hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T)] * \hat{S}_{T+k-s} \quad , 1 \leq k \leq s.$$

Avec :

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

$s = 4, 6, 12\dots$

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

Pour initialiser l'algorithme on prend :

- $\hat{a}_0(1)$: C'est la moyenne de la première année.
- $\hat{a}_1(1) = 0$.
- $S_t = Y_t - \hat{a}_0(t) \quad t = 1, \dots, s$.

les paramètres de lissage λ et μ et γ sont obtenus en minimisant :

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

3.2 Méthode de Box et Jenkins

Les modèles de prévision de Box et Jenkins sont basés sur des concepts et des principes statistiques et sont capables de modéliser le comportement d'un large spectre de séries chronologiques. Il existe une classe large de modèles. Des tests et des mesures statistiques permettent de vérifier la validité du modèle et la qualité de la prévision.

Le but sous-jacent est de trouver un modèle approprié de telle manière que les résidus soient assez petits que possibles et ne présentent aucune forme usuelle. Cette méthode permet en plusieurs étapes, répétées autant de fois que nécessaire, de modéliser une série chronologique par un modèle : ARMA, ARIMA, SARIMA et produire aussi des prévisions fidèle.

On distingue six(6) phases pour la méthode de Box-Jenkins :[1]

1. Analyse préliminaire.
2. Identification du modèle.
3. Estimation des paramètres du modèle.
4. Validation du modèle.
5. Calcul des prévisions.
6. Interprétation des résultats.

L'idée de Box et Jenkins est de ne tenir compte que des observations du passé qui sont fortement corrélées avec le présent.

3.2.1 Modèle MA (1)

Les modèles moyenne mobile sont parmi les technique les plus populaire pour l'analyse des séries chronologique .ils sont utilisées pour filtrer le "bruit blanc"aléatoire des données, afin de rendre la série chronologique plus lisse ou encore mettre en évidence certaines composantes d'information contenues dans cette série. Le modèle s'écrit sous la forme suivante :[1]

$$Y_t = \epsilon_t - \theta\epsilon_{t-1}$$

Les coefficients d'autocorrélations sont donnés par :

$$\rho_k = \begin{cases} \frac{-\theta}{1+\theta^2} & \text{si } k = 1 \\ 0 & \text{si } k > 1. \end{cases}$$

La Condition d'inversibilité est :

$$-1 < \theta < 1.$$

La fonction d'Auto corrélation partielle est :

$$\Pi_k = -\frac{\theta^k(1-\theta^2)}{1-\theta^{2(k+1)}} \geq 1.$$

3.2.2 Modèle MA(q)

C'est la généralisation du modèle $MA(1)$. Ses processus utilisent plus d'une erreur du passé. Ils sont appelés processus moyenne mobile d'ordre q .

ou : q est le plus grand retard utilisée, il s'écrit :

$$Y_t = \epsilon_t - \theta_1\epsilon_{t-1} - \theta_2\epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q\epsilon_{t-q}$$

On vérifie alors que les auto covariances $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_q$ vont dépendre des coefficients $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_q$ mais que :

$$\gamma_{q+1} = \gamma_{q+2} = \dots = 0$$

On dit alors que la fonction d'auto corrélation est tronquée au delà du retard " q ".

3.2.3 Modèle AR(1)

On dit que la série Y_t suit un processus autorégressif d'ordre 1 si on peut écrire :

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + \epsilon_t$$

Ce processus est stationnaire si seulement si :

$$-1 < \phi < 1.$$

Où la série ϵ_t est un bruit blanc.

- la variance

$$\text{Var}(Y) = \frac{\sigma^2}{(1-\phi^2)} > 0, \quad \forall \phi \neq \pm 1.$$

- la fonction d'Auto corrélation :

$$\rho(k) = \phi^k, \quad \text{pour } k \geq 1.$$

3.2.4 Modèle AR (p)

C'est la généralisation du modèle $AR(1)$, il s'écrit :

$$\begin{aligned} Y_t &= \phi_1 Y_{t-1} - \phi_2 Y_{t-2} \dots - \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t \\ Y_t(1 - \phi_1 \beta - \phi_2 \beta^2 - \dots - \phi_p \beta^p) &= \epsilon_t \\ \Phi_p(\beta) Y_t &= \epsilon_t \end{aligned}$$

$\Phi_p(\beta)$: est un polynôme auto régressif.

Condition de stationnarité :

Ce processus est stationnaire si : les solutions du polynôme $1 - \phi_1 x - \phi_2 x^2 - \dots - \phi_p x^p$ sont en module supérieur à 1.

La fonction auto corrélation d'un processus $AR(p)$ est un mélange d'exponentiel et de sinusoides, c'est la raison pour laquelle on a introduit la fonction d'auto corrélation partielle :

$$\Pi_k = \begin{cases} \neq 0 & \text{si } k = 1 \dots p \\ = 0 & \text{si } k > p \end{cases}$$

3.2.5 Processus ARMA (1,1)

Ce processus est une combinaison de deux modèle : MA, AR Il s'écrit :

$$Y_t = Y_{t-1} + \epsilon_t - \theta \epsilon_{t-1}$$

- La condition de stationnarité est :

$$-1 < \phi < 1.$$

- La condition d'inversibilité est :

$$-1 < \theta < 1.$$

- La fonction d'autocorrelations est :

$$\rho_k = \begin{cases} (\phi - \theta)(1 - \phi\theta)/(1 - 2\phi\theta - \theta^2), & \text{si } k = 1 \\ \phi^{k-1}\rho_1 & \end{cases}$$

Si $k = 1$: il n'y a pas de schéma précis.

Si $k > 1$: il y a décroissance exponentiel donc on aura le même schéma que pour le modèle *AR*.

Les autocorrelations partielles : elles ressemblent a ceux d'un modèle *MA* a partir de $k = 2$.

3.2.6 Processus ARMA (p,q)

Le modèle s'écrit :

$$\begin{aligned} Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \phi_2 Y_{t-2} \dots \phi_p Y_{t-p} &= \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots \theta_q \epsilon_{t-q} \\ Y_t(1 - \phi_1 \beta - \phi_2 \beta^2 \dots \phi_p \beta^p) &= \epsilon_t(1 - \theta_1 \beta - \theta_2 \beta^2 - \dots \theta_q \beta^q) \\ \Phi_p(\beta) Y_t &= \Theta_q(\beta) \epsilon_t. \end{aligned}$$

$\Theta_q(\beta)$: est un polynôme moyenne mobile d'ordre q .

- Condition de stationnarité :

Les solutions du polynôme $1 - \phi_1 x - \phi_2 x^2 \dots \phi_p x^p$ soient de module supérieur à 1.

- Condition d'inversibilité :

Les solutions du polynôme $1 - \theta_1 x - \theta_2 x^2 - \dots \theta_q x^q$ soient de module supérieur à 1.

- Les autocorrélations :

-Si $k \leq q$, il n'y a pas de schéma précis.

-Si $k > q$, il y a un mélange d'exponentiel et de sinusoides.

- Les autocorrélation partielles :

-Si k , il n'y a pas de schéma précis.

-Si $k > p$, il y a un mélange d'exponentiel et de sinusoides.

Si le processus n'est pas stationnaire les modèles AR , MA , $ARMA$ ne sont plus applicables. On introduit par conséquent les modèles $ARIMA$ et $SARIMA$.

3.2.7 Processus $ARIMA$

Si la série présente une tendance et pas de saisonnalité, on peut appliquer le filtre ordinaire ∇ pour la rendre stationnaire.

On a :

$$\begin{aligned} Y_t &\rightsquigarrow ARMA(p, q). \\ \nabla^d Y_t &\rightsquigarrow ARIMA(p, d, q). \\ \Phi_p(\beta) \nabla^d Y_t &= \epsilon_t \Theta_q(\beta). \end{aligned}$$

3.2.8 Processus $SARIMA$

Si la série présente une tendance et une saisonnalité on peut appliquer le filtre différence ∇^d et le filtre saisonnier ∇^D .

On obtient le modèle :

$$\begin{aligned} Y_t &\rightsquigarrow ARMA(p, q). \\ \nabla^d \nabla^D Y_t &\rightsquigarrow SARIMA(p, d, q)(P, D, Q). \\ \phi_p(\beta) (\beta^s) \nabla^d \nabla_s^D Y_t &= \theta_q(\beta) \Theta_Q(\beta^s) \epsilon_t. \end{aligned}$$

Où :

$\phi_p(\beta)$: polynôme auto régressif ordinaire d'ordre p .

$\Phi(\beta^s)$: polynôme auto régressif saisonnier d'ordre p .

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

(β^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 .

3.3 Test d'ajustement

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

Ensuite, il faudra bien vérifier la validité. Cette vérification est obtenue par un test d'adéquation.

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'équation 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 trop grand, il est préférable regrouper en classes et d'utiliser le test de Khi-Deux.[12]

3.3.1 Test de Khi-Deux

Soit $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ n-échantillon issu d'une variable aléatoire X . On partage le domaine D de la variable X , partie de l'ensemble des réels \mathbb{R} , en r classes C_1, C_2, \dots, C_n .

Généralement, on prend $r \approx \sqrt{n}$ soient :

n_i : l'effectif de la classe i .

p_i : Probabilité de se trouver dans la class C_i . Elle est déduire à partir de la loi de probabilité à tester.

np_i : l'effectif théorique de la classe C_i .

Pearson a démontré que la variable aléatoire :

$$K_n^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i}$$

Suit asymptotiquement un Khi-Deux à $(r - 1)$ degré de liberté, N_i étant la variable aléatoire représentant l'effectif de la class C_i et dans la réalisation est n_i .

Soit k_n^2 la réalisation de la variable aléatoire K_n^2 . La règle de décision est alors :

* Si $k_n^2 < K_{r-1,\alpha}^2$: on ne rejette pas l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

* Si $k_n^2 > K_{r-1,\alpha}^2$: on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

Lorsque les paramètres de la loi validés sont estimés à partir de l'échantillon, le degré de liberté du Khi-Deux est alors à $(r - q - 1)$, étant le nombre de paramètres estimés.

L'application du test Khi-Deux doit satisfaire les conditions suivantes :

1. Le nombre de classe doit être supérieur à 8.
2. L'effectif théorique $n p_i$ doit être supérieure à 8.
3. L'effectif théorique des $(r$ classes doivent être sensiblement égaux.

3.3.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

Soit $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ n-échantillon issu d'une variable aléatoire X, que l'on veut ajuster par loi théorique $F_0(x)$.

Soit F_n sa fonction de répartition empirique. Kolmogorov avait démontré que la variable :

$$D_n = \max_{x \in \mathbb{R}} | F_n - F_0 |$$

soit asymptotiquement une loi indépendante de F_0 :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(\sqrt{n} D_n < x) = K(x)$$

avec :

$$\begin{cases} K(x) = 0 & \text{si } x \leq 0. \\ K(x) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} (-1)^j e^{-2j^2 x^2} & \text{si } x > 0. \end{cases}$$

Cette fonction est tabulé (table de Kolmogorov). Soit $d(\alpha)$ la valeur tabulée telle que :

$$P(D_n > d(\alpha)) = \alpha$$

La règle de décision est alors :

* Si $D_n < d(\alpha)$: On ne rejette pas l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

* Si $D_n > d(\alpha)$: On rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

Chapitre 4

Modélisation et approche de résolution

4.1 Modélisation statistique

Pour une bonne organisation au sien de l'unité UAB, une classification ABC s'impose, afin de déterminer les produits et les matières premières phares à étudier, puis faire une prévision sur la production des produits choisis après l'application de la méthode ABC, et même si pour les matières premières.

4.1.1 Collecte des données

La présente étude est basée sur les données de production des produits finis et de consommation des matières premières qui s'étalent du 01/01/2014 au 31/12/2015. La source de nos données est l'historique de Production-consommation durant ces deux dernières années, fournies par les services du département d'exploitation et de gestion des stocks.

Les données concernant la production sont reportées dans les tableaux (4.1) et (4.2), où l'unité de mesure est la tonne.

J/B : Jeune Bovin.

V/L : Vache Laitière.

P/Reprod : Poule Reproductrice.

Ovin/ENG : Ovin Engraissement.

CHAPITRE 4. MODÉLISATION ET APPROCHE DE RÉOLUTION

PTODUIT	CODE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Totale
Démarrage	1102	0	20.98	44.7	4.32	2.2	39.52	102.2	65.4	0	1.98	0	20.8	302.1
Démarrage	1103	19.38	12.1	0	0	0	0	0	0	0	23.06	35.9	0	90.44
Croissance	1202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Croissance	1213	0	18.46	35.6	17.26	21.8	30.8	71.56	20.18	0	107.58	0	0	323.24
Croissance	1232	26.34	0	5.4	0	6.2	20.72	18.3	33.7	0	2.5	8.88	7.3	129.34
Croissance	1233	242.82	32.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	275
Finition	1302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Finition	1313	0	36.84	26.68	21.06	22.64	3.4	53.34	118.6	3.02	0	1	4.5	291.08
Finition	1330	85.28	15.64	0	0	0	2.22	0	0	0	0	0	0	103.14
Finition2	1331	9.96	0	0	11.86	279.12	20.66	0	0	0	0	0	2.8	324.4
Finition	1402	3.9	0	0	5.68	0	0	0	0	0	0	0	0	9.58
PFP1	2102	0	83.8	21.09	96.18	128.78	207.2	214.8	18.34	111.14	162.3	147.4	200.3	1391.33
PFP1	2109	47.84	51.98	52.88	0	0	38.06	0	0	0	0	36.64	0	227.34
PFP1	2202	0	41.06	88.86	374.34	121.2	0	10.1	25.58	0	251.58	0	50.2	962.92
PFP2	2209	12.76	53.3	0	9.2	0	124.36	0	0	0	0	0	0	199.62
PFP2	2215	0	0	0	1.92	13.22	3.36	21.2	0	0	26.34	0	20.3	98.7
PONTE	2302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PONTE	2310	240.12	1.18	6.4	1.88	6.24	5.94	1.84	1.84	5.32	5.95	4.94	5.78	287.43
PONTE	2329	15.02	29.54	4.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.7
PONTE	2330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PONTE	2334	13.56	196.92	233.72	278.72	420.24	266.8	230.8	401.38	353.4	352.7	476.68	18.65	3243.57
P/REPROD	2402	248.9	172.08	140.44	143.62	97.68	207.04	97.82	105.12	81.12	2.98	99.09	85.7	1481.52
J/B	3202	0	0	0	0	14.9	115	0	2.52	0	0	0	0	132.42
J/B	3303	8.84	19.5	57.44	20.44	10.5	20.86	23.3	24.7	12.18	97.64	18.82	20.22	334.44
V/L	3703	36.78	3.14	87.8	71.14	33.2	10.17	111.15	67.84	81.66	27.64	98.64	54.68	683.84
V/L	3708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V/L	3709	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V/L	3710	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OVIN/ENG	4202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OVIN/ENG	4203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OVIN/ENG	4208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OVIN/ENG	4211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OVIN/ENG	4213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	33	997.94	788.82	808.15	1057.62	1186.94	857.94	909.69	884.2	108.99	97.98	931.95	638.28	11072.5

TABLE 4.1 – Production "2014"

PTODUIT	CODE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTALE
Démarrage	1102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Démarrage	1103	72.04	33.44	17.64	7	55.54	44	77.32	20.18	0	0	52.64	0	379.9
Croissance	1202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Croissance	1213	0	0	0		22.16		26.06	143.6	6.66	0	0	0	339.24
Croissance	1232	0	0	137.52	20	5.54	1.54	0	29.02	20.16	0	0	94.02	307.8
Croissance	1233	0	0	0		0	0	0	0	13.8	0	0	0	13.8
Finition	1302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Finition	1313	0	0	0	17.2	0	0	68.8	0	0	104.12	0	0	190.12
Finition	1330	0	0	36.14	30.56	0	7		0	0	19.1	10.9	7.72	111.42
Finition2	1331	0	0	1.46	25.12	2.48	0	11.14	26.24	0	7.92	2.88	5.78	83.020
Finition	1402	0	0	0	0	0	0	49.62	0	39.84	0	0	0	129.46
PFP1	2102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFP1	2109	15.18	184.1	275.9	120.18	55.26	201.6	249.76	262	146.72	0	0	134.42	1510.7
PFP1	2202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFP2	2209	162.24	10.36	18.12	200	0	71.06	0	0	0	0	0	0	461.78
PFP2	2215	0	0	0	0	68.02	118.92	137.8	273.06	274.4	376.66	83.32	0	1368.180
PONTE	2302	2.84	4.28	1.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.58
PONTE	2310	8.58	0	0	0	0	0	0	1.44	0	0	0	0	10.02
PONTE	2329	0	0	0	0	0	0	0	0	17.10	0	0	0	17.10
PONTE	2330	0	0	14.26	19.28	2.8	0	10.6	14.46	0	21	24.06	40.28	146.74
PONTE	2334	154.26	179.28	200.18	312.8	210.6	199.46	300.55	321	274.06	40.28	22.58	33.35	2248.4
P/REPROD	2402	209.26	162.64	202.1	98.27	156.7	120	0	73.02	219.22	215.28	257.2	257.46	1971.16
J/B	3202	55.12	117.18	78.08	102	65.02	66.26	74.36	56.72	40.38	34.18	46.64	37.8	773.74
J/B	3303	18.68	26.06	58.88	60	42.42	52.22	98.68	52.74	67.72	38.08	21.64	35	572.12
V/L	3703	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.44	0	1.44
V/L	3708	0	0	0	20.1	0	16	18.86	18.34	19.2	23.64	46.06	20.02	182.18
V/L	3709	74.64	151.32	106.08	61.66	80.16	100	49.4	64.06	58.166	53.34	46.68	48.86	894.3
V/L	3710	0.98	0.78	8.06	0	1.22	1.26	0	0	3.72	0	0	0.54	16.02
OVIN/ENG	4202	8.48	62.64	82.82	40	41.26	18.88	42.62	22.72	13.2	12.1	3.66	5.62	352
OVIN/ENG	4203	0	0	25.62	100.16	26.24	43.7	43.74	16.32	0	43.24	35.64	34.48	369.14
OVIN/ENG	4208	0	0	0	10	0	1.68	0	1	0	19.44	0	0	32.12
OVIN/ENG	4211	0	70.5	85.38	70.22	0	38.82	72.96	244.62	90.92	92.32	127.66	113.74	1006.4
OVIN/ENG	4213	0	0	0	0	0	24.74	17.3	73.66	46.24	20.7	36.12	26.82	245.58
TOTALE	33	628.0	752.0	1056.	830.3	597.3	926.4	1025.3	1374.8	997.5	1142.1	750.4	824.2	13854.16.

TABLE 4.2 – Production "2015"

4.1.2 Choix des produits à étudier

Vu le nombre important de produits finis fabriqués au sein de l'unité UAB, l'étude statistique de chacun d'eux sera très longue, il est préférable alors de cibler seulement les produits phares. Pour orienter notre étude, on s'est basé sur " la production " en produits finis lors de ces deux ans. A cet effet, on a effectué une analyse ABC pour déterminer la classe des produits engendrant le taux de production le plus élevé pendant ces deux années 2014 et 2015.

Les résultats de l'analyse ABC sont donnés dans le tableau (4.3)

Produits	CODE	Classement décroissant de production	% de production	Cumul de production	classe
Ponte	2334	5491.97	22.03%	22.03%	A
P/REP	2402	3609.8	14.48%	36.51%	
PFP1	2109	1951.68	7.83%	44.34%	
PFP1	2102	1616.11	6.48%	50.82%	
PFP2	2215	1418.52	5.69%	56.51%	
OVIN/ENG	4211	1007.14	4.04%	60.55%	
PFP1	2202	962.92	3.87%	64.42%	
J/B	3202	906.16	3.63%	68.05%	
V/L	3709	894.366	3.59%	71.64%	
J/B	3303	807.88	3.24%	74.88%	
V/L	3703	685.28	2.75%	77.63%	
PFP2	2209	661.4	2.65%	80.28%	B
Croissance	1213	521.72	2.10%	82.38%	
Finition	1313	481.2	1.93%	84.31%	
Démarrage	1103	470.24	1.88%	86.19%	
Croissance	1232	437.14	1.76%	87.95%	
Finition2	1331	407.42	1.65%	89.58%	
OVIN/ENG	4203	369.14	1.48%	91.06%	
OVIN/ENG	4202	354	1.42%	92.48%	
PONTE	2310	297.45	1.20%	93.68%	
Croissance	1233	288.8	1.16%	94.83%	
Démarrage	1102	276.8	1.12%	95.95%	
OVIN/ENG	4213	245.58	0.99%	96.93%	C
Finition	1330	214.56	0.86%	97.79%	
V/L	3708	182.22	0.73%	98.52%	
PONTE	2330	146.74	0.59%	99.11%	
Finition	1402	99.04	0.40%	99.51%	
PONTE	2329	65.8	0.26%	99.77%	
OVIN/ENG	4208	30.44	0.12%	99.89%	
V/L	3710	16.56	0.07%	99.96%	
PONTE	2302	8.58	0.04%	100%	
Croissance	1202	0	0%	100%	
Finition	1302	0	0%	100%	
Totale	33	24926,66	100%	100%	

TABLE 4.3 – Résultats de l'analyse ABC

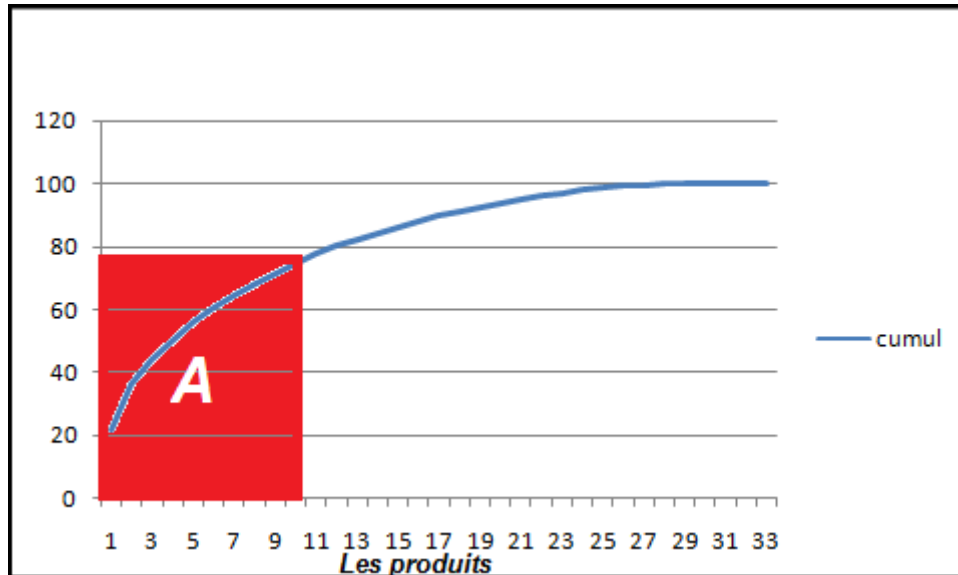


FIGURE 4.1 – Curbe cumulée croissante de la production

Interprétation des résultats

D'après ces résultats, on constate que la classe " A " correspond aux produits suivants :

PONTE, P/REPRO, PFP1, PFP1, PFP2, OVIN/ENG, PFP1, J/B, V/L, J/B, V/L.

Ces derniers sont des produits phares qui représentent 77.88 du cumul de la production pour ces raisons, en conseillant de consacrer plus d'effort quant à la gestion de ces produits.

Notre choix va se porter sur cette classe et ce en étudiant uniquement les produits :

- Ponte
- P/Reprod

4.1.3 Choix des matières premières à étudier

Vu le nombre important de matières premières de l'unité UAB, l'étude statistique de chacun d'eux sera très longue, il est préférable alors de cibler seulement les matières importantes. Pour orienter notre étude, on s'est basé sur " la consommation " en matières premières lors de ces deux ans. A cet effet, on a effectué une classification ABC pour déterminer la classe des matières qui a engendré le taux de consommation le plus élevé pendant ces deux années 2014 et 2015.

La consommation des différentes matières premières durant les années 2014 et 2015 sont respectivement données dans les tableaux (4.4) et (4.5).

Matière	jan	FEV	MAR	AVR	MAI	juin	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
Mais	498.65	487.97	486.31	568.31	629.28	396.9	457.71	448.32	615.31	600.09	460.97	329.04
Orge	209.02	206.59	106.29	984.2	62.83	102.54	93.85	93.84	90.75	79.56	80.05	74.87
Soya	226.78	220.79	182.74	176.28	226.24	153.36	166.08	167.03	208.9	188.43	159.2	113.42
Issue m	130.03	143.73	132.77	175.04	186.14	152.56	142.55	128.84	161.8	156.52	113.57	97.96
Huile acide	4.85	8.885	0.257	0.35	13.95	6.78	0.476	0.46	0.47	0.42	0.51	0.466
Sel	2.69	2.11	1.826	1.84	1.172	1.59	1.559	1.74	1.57	1.508	1.35	1.202
Calcaire	32.26	27.84	27.58	33.6	43.37	26.98	29.13	27.97	39.63	40.68	40.43	31.73
Phosphate	9.17	8.78	9.619	10.26	11.15	7.68	8.63	8.275	10.43	10.16	7.75	5.62
A. Stress	0.968	0.336	0.477	0.102	0.053	0.42	1.054	0.211	0.044	0.57	0.38	0.0296
CMV b/o	0.45	0.926	0.79	0.915	0.46	1.22	1.359	1.21	1.32	0.99	0.83	0.992
CMV VL	2.48	1.72	1.49	1.43	0.97	1.08	0.97	1.27	1.016	1.08	0.99	0.81
CMV DCP	4.317	2.808	4.501	5.012	5.52	3.46	3.64	2.9	4.08	3.45	2.19	1.11
CMV. fin	0.952	3.27	0.266	0.329	0.22	0.23	0.27	0.86	1.18	1.075	0.8	0.0302
CMV ponte	0.478	0.307	0.108	0.138	0.34	0.24	0.22	0.2	0.31	0.053	0.057	0.059
CMV REPR	2.52	2.04	2.402	2.86	4.32	2.55	3.58	2.36	3.58	4.12	4.63	3
méthionin	0.002	0.0063	0.013	0.004	0.007	0.011	0.032	0.006	0.004	0.016	0.023	0.004

TABLE 4.4 – Consommation des matières premières en "2014"

Matière	jan	FEV	MAR	AVR	MAI	juin	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
Mais	293.17	264.45	430.91	250.55	261.33	360.2	408.71	466.68	643.35	411.98	624.34	357.34
Orge	97.21	238.43	282.20	210.12	128.33	141.91	213.22	346.72	202.22	149.76	262	197.98
Soya	104.9	125.23	87.98	185.43	103.73	157.46	175.06	206.73	192.37	127.39	201.33	137.6
Issue m	104.4	169.98	211.8	125.46	132.63	111.97	204.4	260.49	201.79	188.46	166.17	156.29
Huile acide	0.315	0.215	0.111	0.45	0.3	0.66	0.5	0.3	0.6	0.312	0.34	0.64
Sel	7.76	2.75	2.63	2.33	1.788	1.44	2.513	3.007	2.35	2.02	2.29	1.91
Calcaire	21.77	21.48	27.04	23.22	19.208	18.4	13.373	23.066	32.89	28.83	28.76	29.27
Phosphate	5.37	6.409	9.935	8.37	5.903	4.32	10.74	15.16	14.66	11.688	7	7.66
A. Stress	0.734	0.357	0.191	0.21	0.55	0.33	0.77	0.202	0.48	0.434	0.62	0.53
CMV b/o	0.821	2.836	3.309	3.22	2.162	1.43	3.49	4.664	2.88	2.698	2.72	2.53
CMV VL	0.75	1.52	1.143	0.34	0.812	0.97	0.68	0.826	0.811	0.77	0.97	0.69
CMV DCP	2.49	2.27	5.1	4.23	2.065	3.02	6.102	7.32	1.4	3.765	2.29	4.82
CMV. fin	2.224	0.34	0.376	0.55	0.025	0.022	0.793	0.144	0.504	0.22	0.12	0.4
CMV ponte	0.11	0.043	0.534	0.34	0.2	0.27	0.3	0.733	0.8	0.166	0.11	0.69
CMV REPR	2.16	1.696	2.158	2.55	1.632	0.22	0.068	0.826	2.267	2.224	2.7	2.86
méthionin	0.027	0.022	0.02	0.024	0.025	0.027	0.024	0.026	0.019	0.025	0.02	0.02

TABLE 4.5 – Consommation des matières premières en "2015"

Les résultats de l'analyse ABC sont donnés dans le tableau (4.6)

Matière	Classement Décroissante	Pourcentage	Pourcentage Cumulé	Classe
Mais	10751.89	44.057	44.057	A
Orge	4654.49	19.072	63.12	
Soja	3994.46	16.36	79.49	
Issue	3755.35	15.38	94.88	B
Sel	688.21	2.82	97.69	
huile acide	214.22	0.87	98.57	
Calcaire	87.32	0.35	98.93	
Phosphate	83.66	0.34	99.27	C
CMV A.S	75.61	0.30	99.58	
CMV B/O	44.61	0.18	99.76	
CMV V/L	42.22	0.17	99.94	
CMV DCP	4.89	0.02	99.96	
CMV fin	1.55	0.006	99.98	
CMV P	1.23	0.005	99.98	
CMV Rep	1.11	0.004	99.99	
Méthionine	0.8	0.003	100.00	

TABLE 4.6 – Résultats de l'analyse ABC

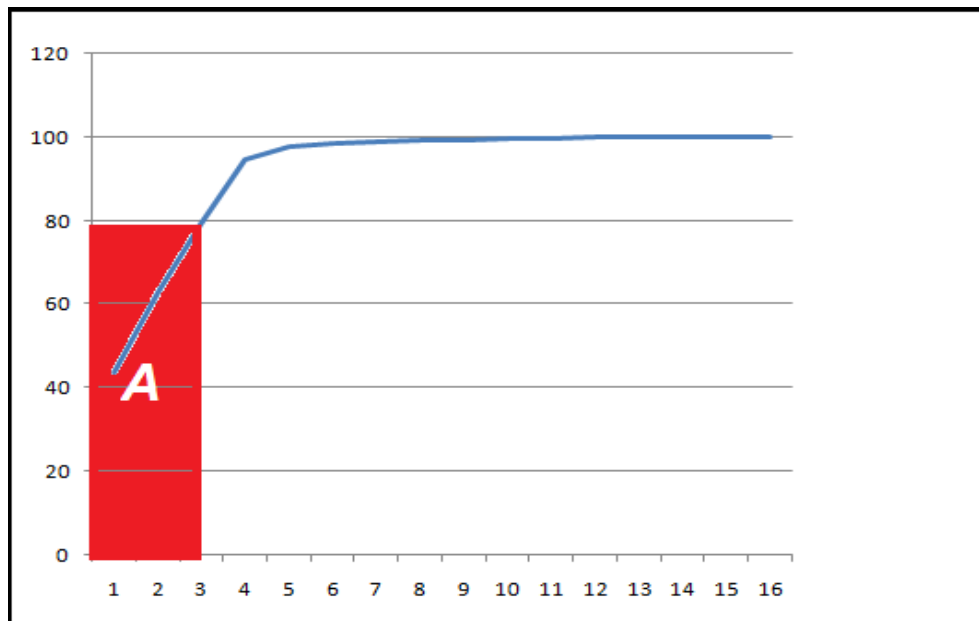


FIGURE 4.2 – Courbe cumulée croissante de la consommation

Interprétation des résultats

D'après ces résultats, on constate que la classe " A " correspond aux matières suivantes :

Orge, Maïs et Soja.

En effet, l'UAB d'EL-Kseur doit fournir plus d'effort sur la gestion des stocks de ces matières. Nous avons seulement choisis les trois matières premières (Orge, Maïs et Soja) à étudier.

4.1.4 Étude prévisionnelle des produits et des matières premières

Présentation de logicielle R

R est un système est communément appelé langage et logicielle, il permet de réaliser des analyses statistiques. Plus particulièrement, il comporte des moyens qui rendent possibles la manipulation des données, les calculs et représentations graphiques. R a aussi la possibilité d'exécution des programmes stocké dans des fichiers textes. En effet R possède :

- Un système efficace de manipulation et de stockage des données.
- Différents opérateurs pour le calcul sur le tableau, en particulier les matrices.
- Un grand nombre d'outils pour l'analyse des données et les méthodes statistiques.
- Un langage de programmation simple et performant comportant : condition, boucle, moyens d'entrées sorties, possibilité de définir des fonctions récursive[9].

Prévision sur la production

Ponte

Dans le tableau (4.7), on représente les données de production concernant la Ponte durant ces deux années.

Mois	Année 2014	Année 2015
Janvier	13.56	154.92
Fevrier	196.32	179.26
Mars	233.14	200.14
Avril	278.22	312.45
Mai	420.10	210.25
Juin	266.32	199.32
Juillet	230.32	300.21
Aout	401.32	321.00
Septembre	353.21	274.87
Octobre	352.7	40.28
Novembre	476.21	22.56
Décembre	18.65	33.55

TABLE 4.7 – Données de production -Ponte -

En utilisant le logiciel R, la figure (4.3) nous donne le graphe de la série originale.



FIGURE 4.3 – série originale -Ponte -

Le graphe de cette série fig(4.3) présente une tendance non linéaire et une saisonnalité d'ordre 12. Pour cela, nous avons appliqué la méthode de Holt Winter Additive afin de modéliser cette série.

Les paramètres du modèle :

α	μ	γ	erreur
0.046	0.1	1	0.03537

TABLE 4.8 – Paramètre de modèle

Le modèle de prévision s'écrit :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+k} \quad , 1 \leq k \leq s$$

avec :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = 0.046[Y_T - \hat{S}_{T-s}] + 0.954[\hat{a}_0(T-1) + \hat{a}_1(T-1)] \\ \hat{a}_1(T) = 0.1[\hat{a}_0(T) + \hat{a}_0(T-1)] + 0.9\hat{a}_1(T-1) \\ \hat{S}_T = [Y_T - \hat{a}_0(T)] \end{cases}$$

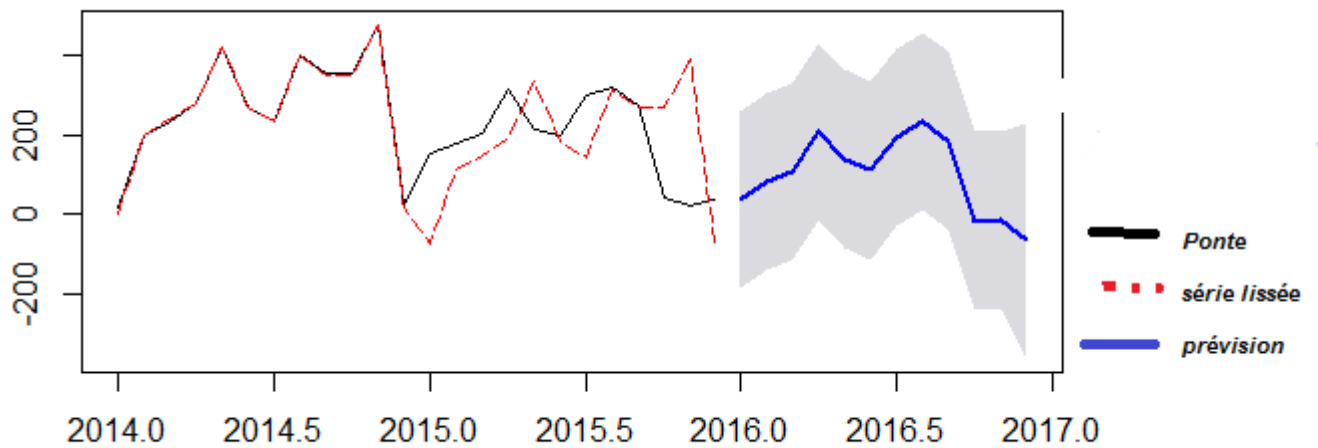


FIGURE 4.4 – série originale et série lissée et les prévisions de -Pontes -

On remarque dans cette figure que la partie de graphe représente les productions réelles de l'année 2014 et 2015 et la série lissée et celle les prévisions de l'année 2016. Les prévisions de l'année 2016 sont données dans le tableau (4.9).

Mois	Prévision
Janvier	33.7856
Février	82.4562
Mars	200.2589
Avril	105.6895
Mai	93.8159
Juin	192.8159
Juillet	207.6783
Aout	187.3894
Septembre	180.0453
Octobre	55.1772
Novembre	56.7895
Décembre	2.0322

TABLE 4.9 – prévision de production -Ponte -

P/REPROD

Dans le tableau (4.10), on représente les données de production concernant la P/REPROD durant ces deux années.

En utilisant le logiciel R, la figure (4.5) nous donne le graphe de la série originale.

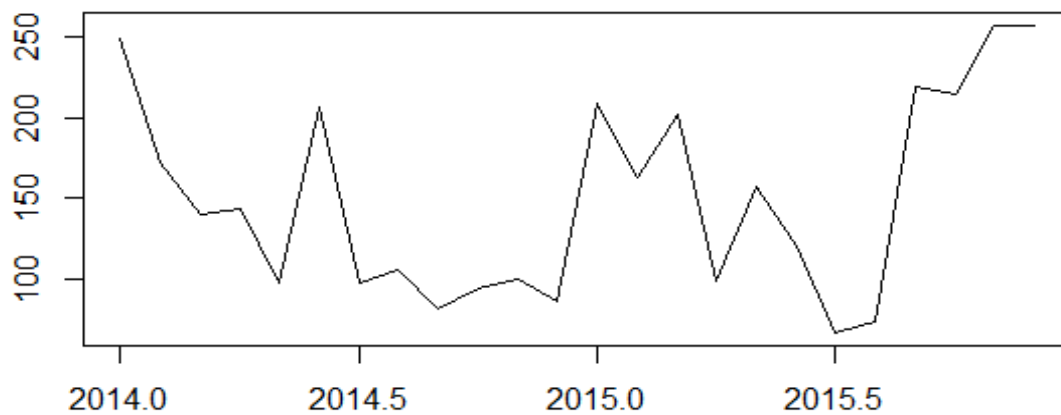


FIGURE 4.5 – Série originale -P/REPROD -

Mois	Année 2014	Année 2015
Janvier	248.06	209.54
Fevrier	172.21	162.54
Mars	140.14	202.75
Avril	143.88	98.14
Mai	97.55	156.74
Juin	207.91	120.95
Juillet	97.73	00.54
Aout	105.91	73.00
Septembre	81.21	219.32
Octobre	2.77	215.74
Novembre	99.91	257.82
Décembre	85.43	257.71

TABLE 4.10 – Données de production -P/REPROD -

Le graphe de cette série fig(4.5) présente une tendance non linéaire et une saisonnalité d'ordre 12. Pour cela, nous avons appliqué la méthode de Holt Winter Additive afin de modeliser cette série.

Les paramètres du modèle :

α	μ	γ	erreur
0.732	0.1	0	0.07421

TABLE 4.11 – Paramètre de modèle

Le modèle de prévision s'écrit :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+k} \quad , 1 \leq k \leq s$$

avec :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = 0.732[Y_T - \hat{S}_{T-s}] + 0.268[\hat{a}_0(T-1) + \hat{a}_1(T-1)] \\ \hat{a}_1(T) = 0.1[\hat{a}_0(T) + \hat{a}_0(T-1)] + 0.9\hat{a}_1(T-1) \\ \hat{S}_T = \hat{S}_{T-s} \end{cases}$$

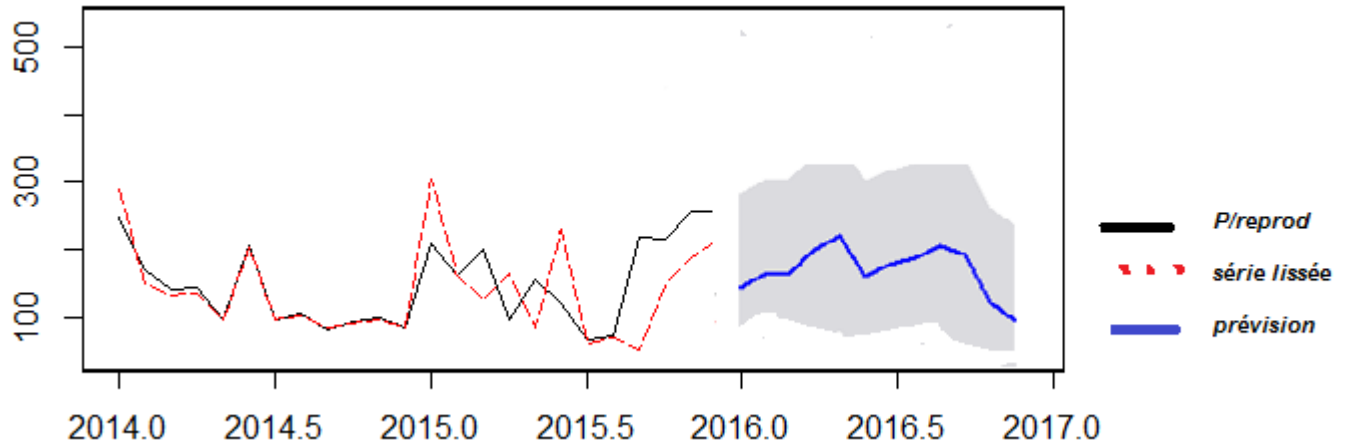


FIGURE 4.6 – Série originale et série lissée et les prévisions de -P/REPROD -

On remarque dans cette figure que la partie de graphe représente les productions réelles de l'année 2014 et 2015 et la série lissée et celle les prévisions de l'année 2016. Les prévisions de l'année 2016 sont données dans le tableau (4.12).

Mois	Prévision
Janvier	158.082
Février	165.3984
Mars	154.0978
Avril	168.1332
Mai	169.8814
Juin	163.8259
Juillet	169.6453
Aout	155.2583
Septembre	158.0453
Octobre	158.1772
Novembre	165.5695
Décembre	154.5522

TABLE 4.12 – Prévision de production -P/REPROD -

Prévision sur la consommation

Orge

En utilisant le logiciel R, la figure (4.7) nous donne le graphe de la série originale.

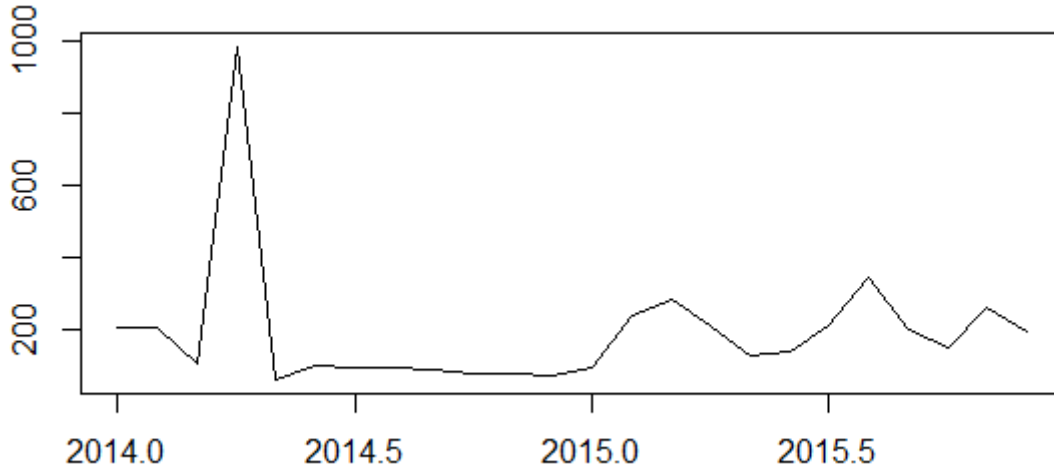


FIGURE 4.7 – Série originale -Orge -

Le graphe de cette série fig(4.7) présente une tendance non linéaire et une saisonnalité d'ordre 12. Pour cela, nous avons appliqué la méthode de Holt Winter Additive afin de modéliser cette série.

Les paramètres de modèle sont :

α	μ	γ	erreur
0.6486	0.1	0	0.1179

TABLE 4.13 – Paramètre de modèle

Le modèle de prévision s'écrit :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+k} \quad , 1 \leq k \leq s$$

avec :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = 0.648[Y_T - \hat{S}_{T-s}] + 0.352[\hat{a}_0(T-1) + \hat{a}_1(T-1)] \\ \hat{a}_1(T) = 0.1[\hat{a}_0(T) + \hat{a}_0(T-1)] + 0.9\hat{a}_1(T-1) \\ \hat{S}_T = \hat{S}_{T-s} \end{cases}$$

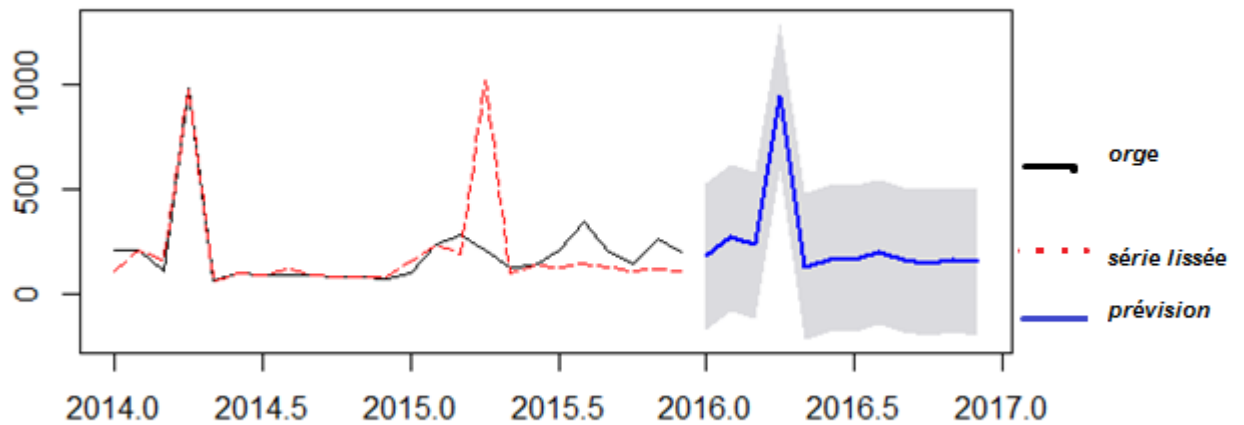


FIGURE 4.8 – Série originale et série lissée et les prévisions de -Orge -

On remarque dans cette figure que la partie de graphe représente les consommations réelles de l'année 2014 et 2015 et la série lissée et celle les prévisions de l'année 2016. Les prévisions de l'année 2016 sont données dans le tableau (4.14).

Mois	Prévision
Janvier	245.2593
Février	293.5698
Mars	267.5863
Avril	821.5895
Mai	193.2458
Juin	194.7759
Juillet	193.6783
Aout	202.3894
Septembre	190.5743
Octobre	192.3258
Novembre	191.6547
Décembre	192.2486

TABLE 4.14 – prévision de production - Orge -

Maïs

En utilisant le logiciel R, la figure (4.9) nous donne le graphe de la série originale.

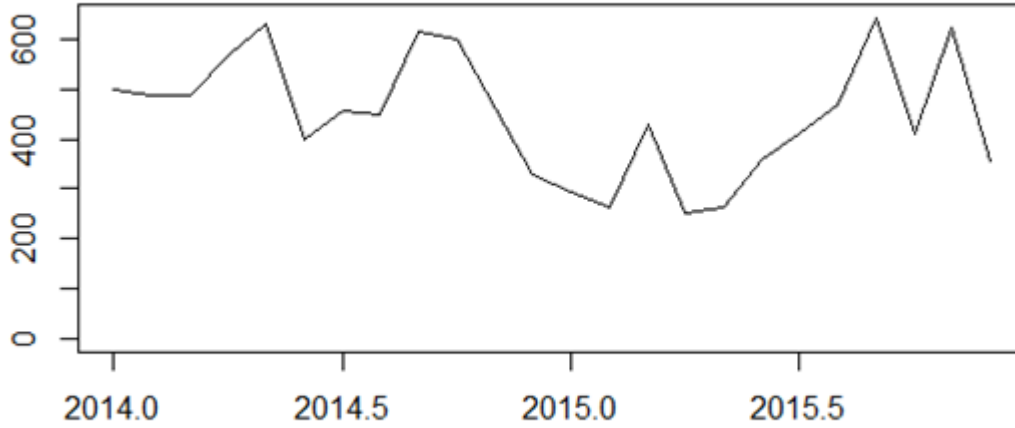


FIGURE 4.9 – Série originale - Maïs -

Le graphe de cette série fig(4.9) présente une tendance et une saisonnalité d'ordre 12. Pour cela, nous avons appliqué la méthode de Holt Winter Additive afin de modéliser cette série.

Les paramètres du modèle :

α	μ	γ	erreur
0.622	0.1	0	0.02597

TABLE 4.15 – Paramètre de modèle

Le modèle de prévision s'écrit :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+k} \quad , 1 \leq k \leq s$$

avec :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = 0.622[Y_T - \hat{S}_{T-s}] + 0.378[\hat{a}_0(T-1) + \hat{a}_1(T-1)] \\ \hat{a}_1(T) = 0.1[\hat{a}_0(T) + \hat{a}_0(T-1)] + 0.9\hat{a}_1(T-1) \\ \hat{S}_T = \hat{S}_{T-s} \end{cases}$$

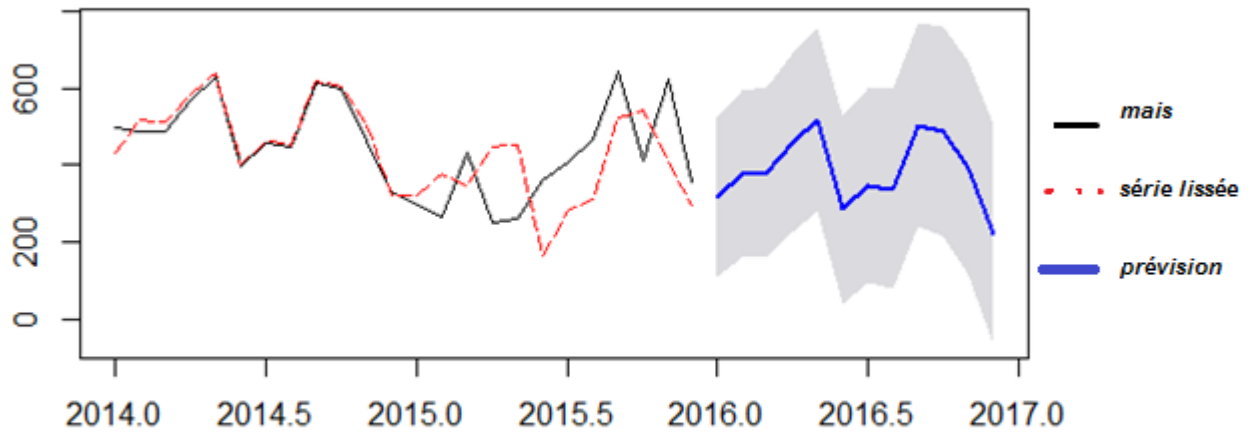


FIGURE 4.10 – Série originale et série lissée et les prévisions de - Maïs -

On remarque dans cette figure que la partie de graphe représente les consommations réelles de l'année 2014 et 2015 et la série lissée et celle les prévisions de l'année 2016. Les prévisions de l'année 2016 sont données dans le tableau (4.16).

Mois	Prévision
Janvier	385.7216
Février	396.1162
Mars	396.2524
Avril	470.6785
Mai	311.7759
Juin	345.5559
Juillet	355.3596
Aout	460.3541
Septembre	456.1459
Octobre	422.1452
Novembre	309.2547
Décembre	211.2451

TABLE 4.16 – Prévision de consommation-Maïs -

Soja

En utilisant le logiciel R, la figure (4.11) nous donne le graphe de la série originale.

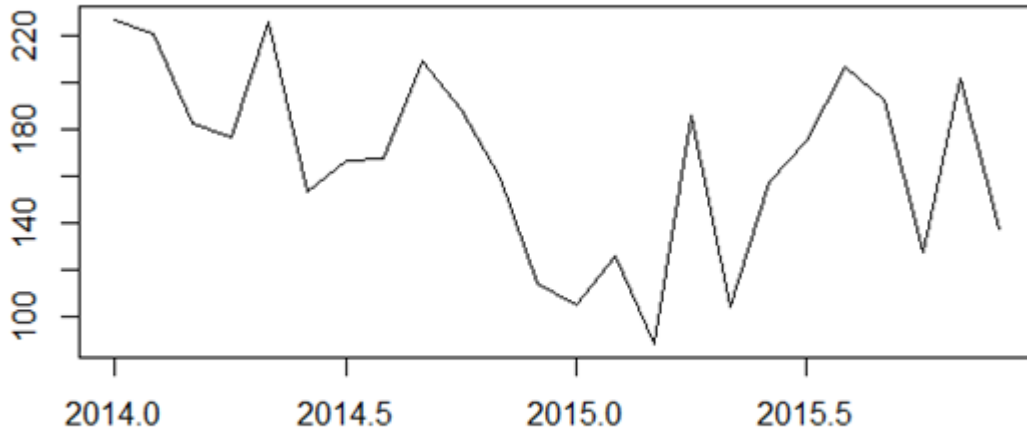


FIGURE 4.11 – Série originale -Soja -

Le graphe de cette série fig(4.11) présente une tendance non linéaire et une saisonnalité d'ordre 12. Pour cela, nous avons appliqué la méthode de Holt Winter Additive afin de modéliser cette série.

Les paramètres du modèle :

α	μ	γ	erreur
0.571	0.1	0	0.04251

TABLE 4.17 – Paramètre de modèle

Le modèle de prévision s'écrit :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) + \hat{S}_{T+k} \quad , 1 \leq k \leq s$$

avec :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = 0.571[Y_T - \hat{S}_{T-s}] + 0.429[\hat{a}_0(T-1) + \hat{a}_1(T-1)] \\ \hat{a}_1(T) = 0.1[\hat{a}_0(T) + \hat{a}_0(T-1)] + 0.9\hat{a}_1(T-1) \\ \hat{S}_T = \hat{S}_{T-s} \end{cases}$$

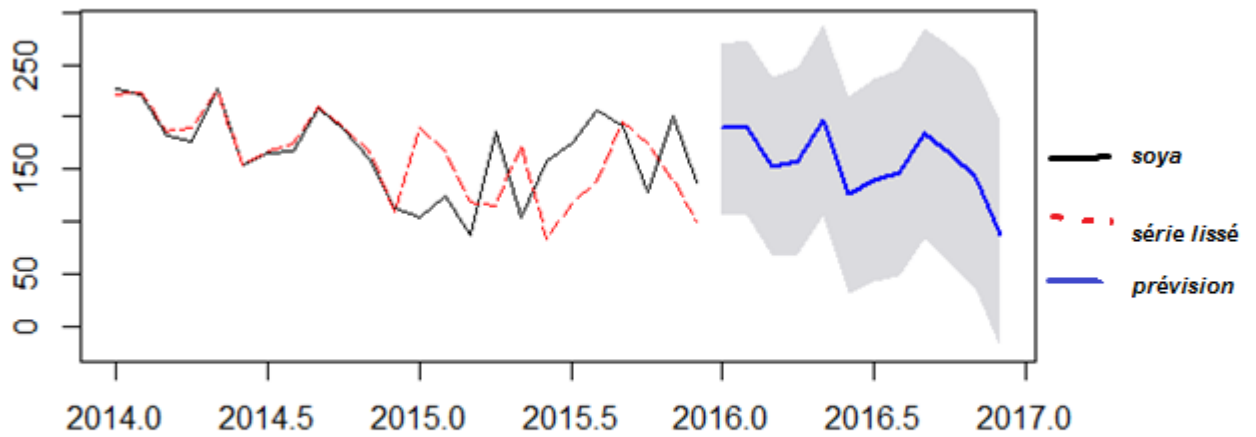


FIGURE 4.12 – Série originale et série lissée et les prévisions de -Soja -

On remarque dans cette figure que la partie de graphe représente les consommations réelles de l'année 2014 et 2015 et la série lissée et celle les prévisions de l'année 2016. Les prévisions de l'année 2016 sont donnée dans le tableau (4.18).

Mois	Prévision
Janvier	165.2487
Février	160.4512
Mars	151.3265
Avril	154.7845
Mai	170.9856
Juin	132.5473
Juillet	138.2178
Aout	167.9512
Septembre	139.4075
Octobre	104.2200
Novembre	103.0245
Décembre	98.5417

TABLE 4.18 – Prévision de consommation-Soja -

Comparaison des prévisions avec la réalité

La qualité des prévisions se fait en comparant ses dernières avec la réalité, dans le cas de présence des données réelles.

Les données réelles disponibles concernent seulement les quatre premiers mois de l'année "2016", ces dernières ainsi que les données prévues sont données dans les tableaux (4.19) et (4.20) :

Production

Produit	P.Rprod		Ponte	
	Prévues	réelles	Prévues	réelles
Janvier	158.6583	389.7451	33.6521	103.6547
Février	165.2102	302.8080	82.9851	110.7532
Mars	154.7777	300.3549	200.7893	150.2121
Avril	168.8787	296.2105	105.89744	120.0654

TABLE 4.19 – Comparaison des prévisions avec la réalité de Production

Consommation

Matière	Orge		Soja		Mais	
	Prévues	réelles	Prévues	réelles	Prévues	réelles
Janvier	245.9711	300.2487	165.2487	190.5476	385.2487	330.2487
Février	293.2874	324.7812	160.6541	130.7532	396.9512	320.3258
Mars	267.2222	320.4587	151.5145	188.2121	396.4896	309.9965
Avril	821.5474	490.4120	154.2487	111.0258	470.3202	390.2580

TABLE 4.20 – Comparaison des prévisions avec la réalité de Consommation

On remarque qu'il y'a un écart entre les données prévues et les données réelles. Cet écart est justifié par le fait que nos prévisions sont basées sur les données historique d'une période (Deux années) tandis que les données réelles sont liées à plusieurs facteurs tels que : l'accroissement de la production, l'instabilité du marché nationale, des demandes imprévues sur des produits distincts, améliorations envisagées.

4.2 Etude statistique

La demande étant d'une importance cruciale pour le système de stockage, dans la détermination de la rafale économique, et d'autres paramètres qui en dépendent d'un côté, et de stock de sécurité de l'autre.

En effet, le calcul de stock de protection, repose sur la détermination des lois de la demande durant le temps d'attente. Les consommations soumises à des variations aléatoires, nous avons définie des variables aléatoires représentant la demande pour chacun des matières premières .

4.2.1 Etude de consommation de l'Orge

A l'issue de l'étude statistique de demande mensuelle d'Orge que nous avons effectué, moyennant de logiciel R, les résultats suivants ont été obtenus :

- La moyenne de l'échantillon est évaluée à 193,9374 et son écart type à 184,8413.
- L'ajustement de cette distribution par une loi normale, est accepté par le test de Kolmogorov Smirnov.

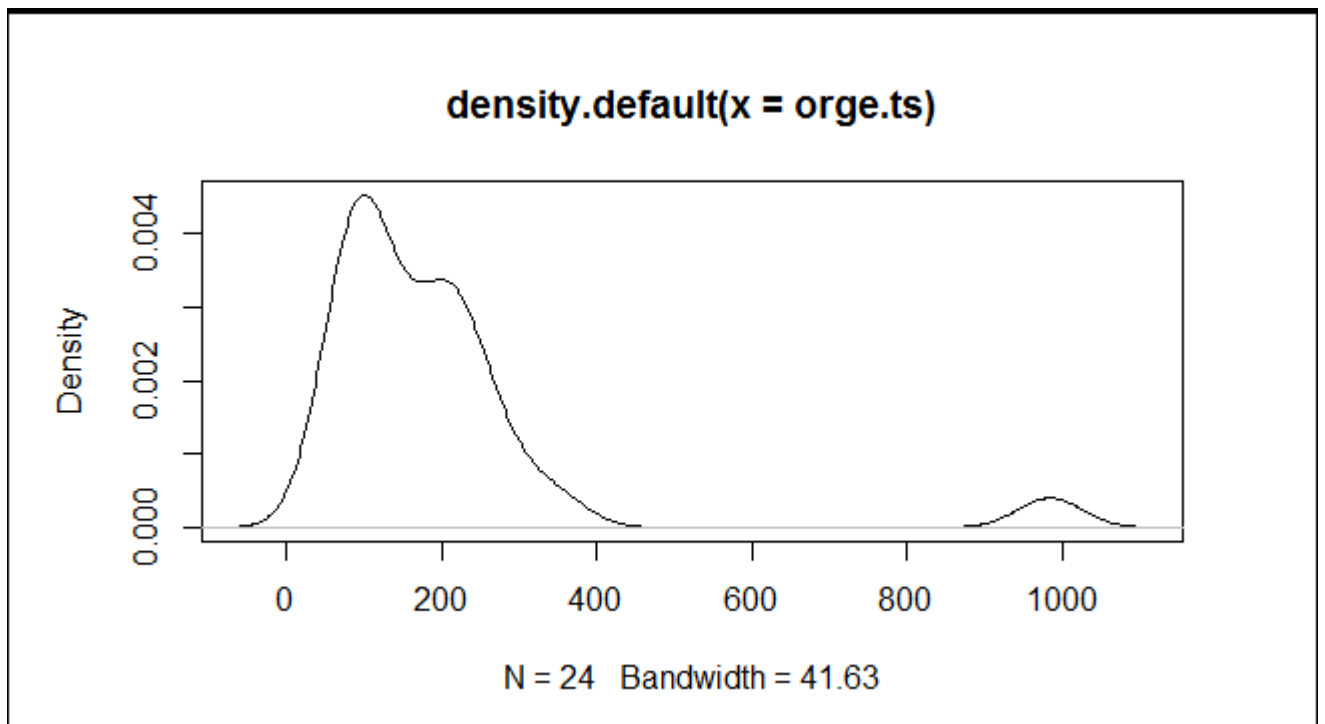


FIGURE 4.13 – Ajustement de la distribution de consommation de l'Orge

En effet la statistique de (K-S) étant de 0.2501 figure (4.14) est inférieure à la valeur tabulé 0,270 au niveau $\alpha = 0,05$.

Ainsi, l'ajustement de la distribution de la demande pour l'Orge, par une loi normale de moyenne 193,9374 et de variance 34166,31 est accepté.

4.2.2 Etude de consommation de Maïs

A l'issue de l'étude statistique de demande mensuelle de Maïs, les résultats suivants ont été obtenus :

- La moyenne de l'échantillon est évaluée à 447,9953 et son écart type à 121,8123.
- L'ajustement de cette distribution par une loi normale, est acceptée par le test de Kolmogorov Smirnov.

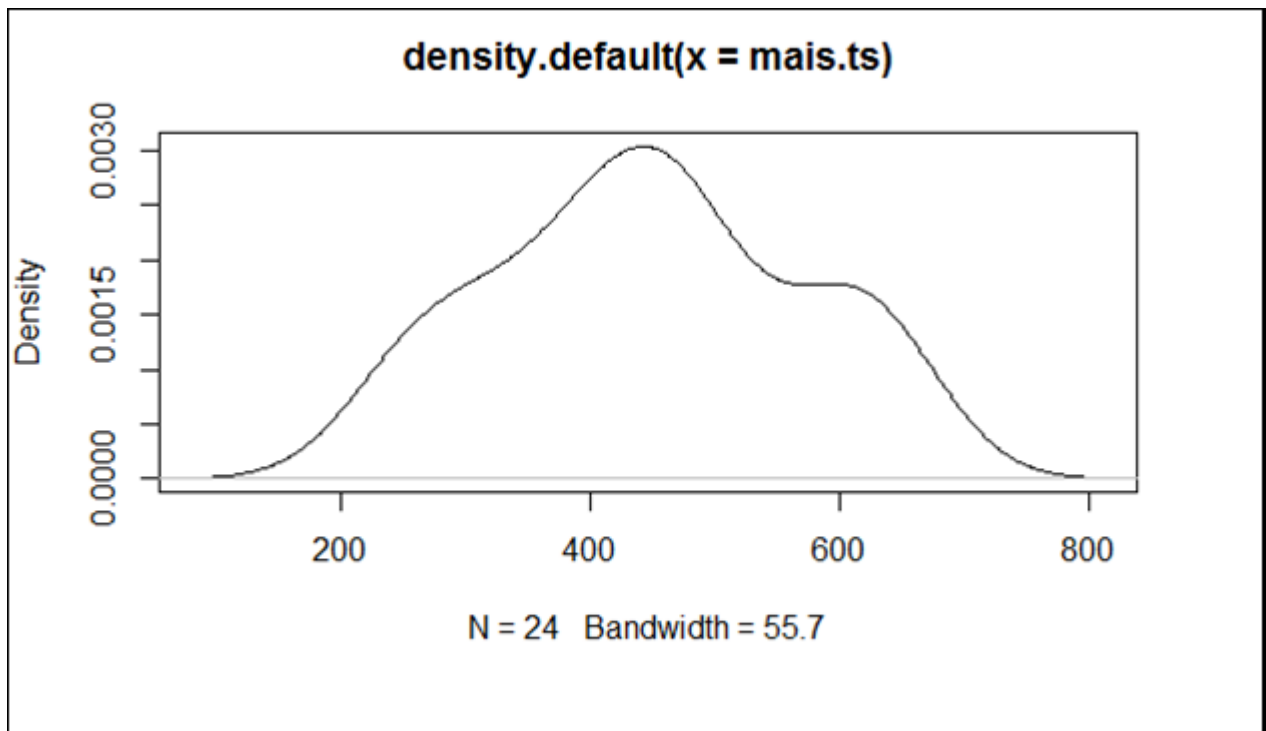


FIGURE 4.14 – Ajustement de la distribution de consommation de Maïs

En effet la statistique de (K-S) étant de 0,1024 figure (4.15) est inférieure à la valeur tabulé 0,270 au niveau $\alpha = 0,05$.

Ainsi, l'ajustement de la distribution de la demande pour le Maïs, par une loi normale de moyenne 447,9953 et de variance 14838,24 est accepté.

4.2.3 Etude de consommation de Soja

A l'issue de l'étude statistique de demande mensuelle de Soja, les résultats suivants ont été obtenus :

- La moyenne de l'échantillon est évaluée à 166,4362 et son écart type à 40,54696.
- L'ajustement de cette distribution par une loi normale, est accepté par le test de Kolmogorov Smirnov.

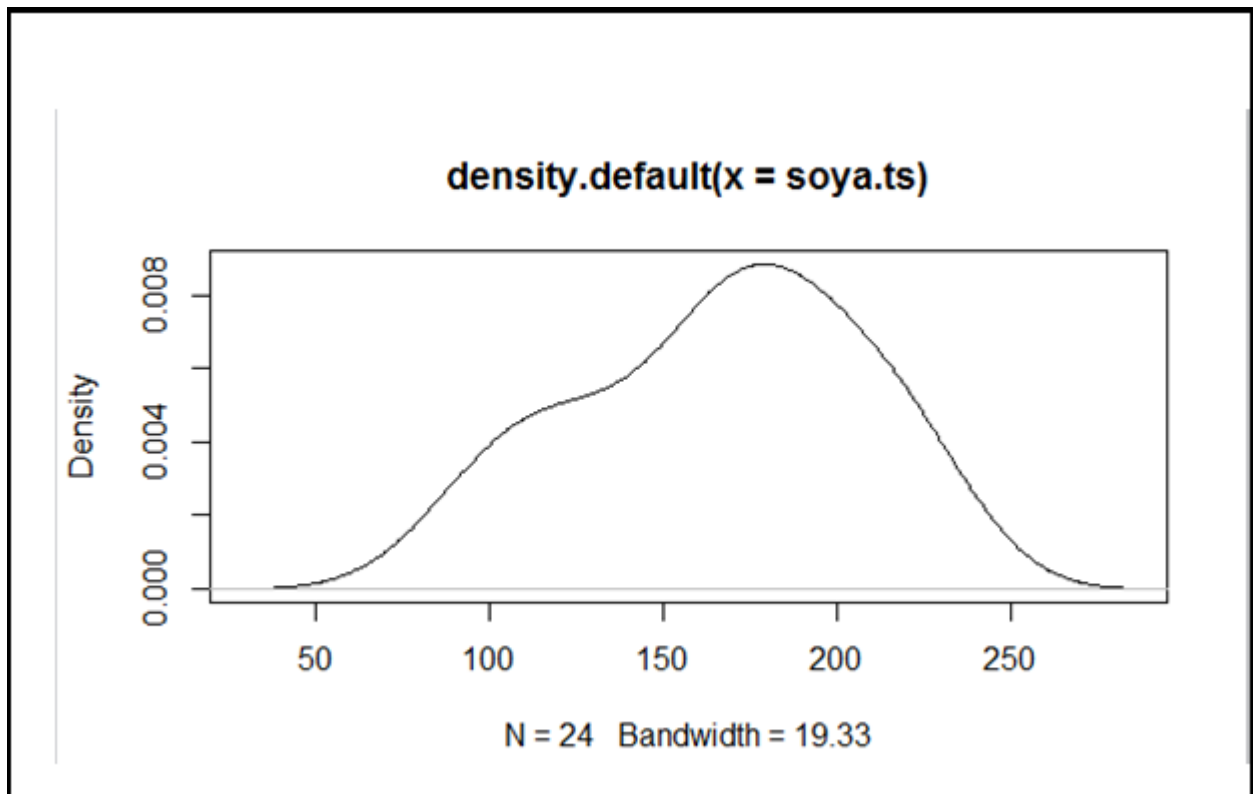


FIGURE 4.15 – Ajustement de la distribution de consommation de Soja

En effet la statistique de (K-S) étant de 0,08262 figure (4.16) est inférieure à la valeur tabulé 0,270 au niveau $\alpha = 0,05$.

Ainsi, l'ajustement de la distribution de la demande pour le Soja, par une loi normale de moyenne 166,4362 et de variance 1644,056 est accepté.

4.3 Modèle de gestion de stock choisi

Le modèle de gestion des stocks doit satisfaire les contraintes sur la limitation des espaces de stockage et d'approvisionnement, et d'assurer un niveau de service contre la pénurie. Il doit offrir une aide à la prise de décision quelle que soit la nature de la demande. Dans un premier temps, nous sommes intéressés à la description du problème considéré. Ce dernier se situe au niveau du système de stockage qui ne peut pas répondre aux demandes issues de décisions prises par les gestionnaires de l'unité d'aliment de bétail.

Si la demande est incertaine, la gestion de stock s'appuie soit sur le système à point de commande (Q,r) ou bien sur le système de gestion calendaire (R,T). Dans le premier cas, une commande de réapprovisionnement est passée lorsque le niveau de stock atteint une certaine limite, dans l'autre cas, des commandes de complètement sont émises à intervalles réguliers pour réajuster les quantités possédées.

Pour cela, le système proposé pour une meilleure stratégie de gestion, en comparant les deux systèmes (Q,r) et (R,T) est le système de point de commande (Q,r), car le cout total de la gestion est inférieure au sien de système (R,T) .

Pour un niveau de service $1 - \alpha = 95\%$, les paramètre de ce système sont résumés, dans le tableau suivant :

Matière première	Point r (tonne)	Stock de Sécurité (tonne)	Quantité économique (tonne)	Coût total (DA)
Maïs	686.74	238.75	83.83	6022260
Orge	556.22	362.28	278.96	5496368
Soja	245.90	79.47	15.94	3399297

TABLE 4.21 – Les résultats obtenues pour le système (Q,r)

4.3.1 Plan d'approvisionnement dynamique

L'UAB d'EL-Kseur doit planifier la consommation trimestrielle de ses matières premières afin de satisfaire sans retard son carnet de commandes pour l'année 2016. Pour chaque trimestre de l'année, l'UAB a des quottas fixes de Maïs, Orge et de Soja imposés par l'ONAB. Alors le calcul du plan d'approvisionnement optimal revient à déterminer, pour chaque période t , la quantité x_t à commander (en tonnes), de manière à satisfaire sans retard la demande tout en minimisant la somme des coûts pour les quatre périodes de la planification.

Modélisation Mathématique

Considérons les variables et les constantes suivantes :

- d_t : la demande à satisfaire dans la période t .
- K_t : le coût de réapprovisionnement pour la période t .
- c_t : le coût unitaire de consommation de l'article.
- h_t : le coût unitaire de stockage.
- x_t : le quota de la matière première dans la période t .
- δ_t : fonction indicatrice qui est définie comme suit :

$$\delta_t = \begin{cases} 1 & \text{si } x_t > 0 \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

- y_t : le niveau de stock observé dans la période t .
- $T = 4$ trimestres.

Supposons que les pénuries ne sont pas autorisées et que le stock initial y_0 d'une matière première quelconque est celui de Janvier 2016 et le stock final y_T est nul.

L'UAB dispose des silos de stockage des matières premières ayant une capacité de 2000 tonnes, notons que les matières premières ne peuvent pas être mélangées.

Un plan d'approvisionnement optimal d'une matière première quelconque correspond à la solution du problème de transbordement.

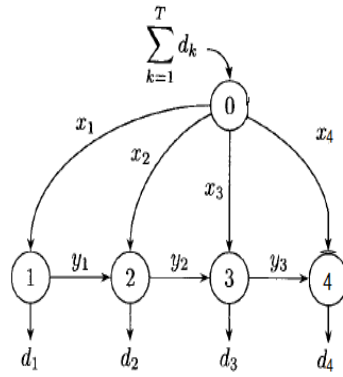


FIGURE 4.16 – Graphe de problème de transbordement

$$\begin{aligned}
 \text{Min} z &= \sum_{t=1}^4 (K_t \delta_t + c_t x_t + h_t y_t) \\
 \text{s.c.} \quad &\left\{ \begin{array}{ll} y_t = y_{t-1} + x_t - d_t & t = 1, 2, \dots, 4 \\ 0 \leq y_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 3 \\ 0 \leq x_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 4 \\ y_0 = \text{Constant}, & y_4 = 0 \end{array} \right. \quad (P)
 \end{aligned}$$

Présentation du logiciel Solver Excel

Pour résoudre le problème (P), nous avons utilisé un outil d'Excel appelé "Solver". Il nous aider à déterminer la solution d'un programme linéaire et utiliser au mieux des ressources limitées pour maximiser des objectifs souhaités tel que la réalisation d'un bénéfice, ou alors minimiser une perte donnée tel que le coût de production. En d'autre terme, il permet de trouver le min ou le max ou la valeur au plus près d'une donnée tout en respectant des contraintes qu'on lui soumis.

Plan de d'approvisionnement du Maïs

Un plan d'approvisionnement optimal du Maïs correspond à la solution du problème de transbordement suivant :

$$\begin{aligned}
 \text{Min} z &= \sum_{t=1}^4 (K_t \delta_t + c_t x_t + h_t y_t) \\
 \text{s.c.} \quad &\left\{ \begin{array}{ll} y_t = y_{t-1} + x_t - d_t & t = 1, 2, \dots, 4 \\ 0 \leq y_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 3 \\ 0 \leq x_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 4 \\ y_0 = 330, & y_4 = 0 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

La table suivante donne pour Chaque quart t , la demande d_t pour le Maïs et les coûts (c_t , h_t et K_t).

t	1	2	3	4
d_t (tonne)	988	872	1518	1393
k_t (10000DA)	50	40	50	70
c_t (10000DA)	5	5	6	4
h_t (10000DA)	4	2	3	4

TABLE 4.22 – données de Maïs

La première étape dans la recherche consiste à déterminer un plan d’approvisionnement optimal

Alors, on calcule les coûts c_{ts} . Comme suit :

$$\begin{aligned} c_{13} &= K_1 + c_1(d_1 + d_2 + d_3) + h_1(d_2 + d_3) + h_2d_3 \\ &= 50 + 5*(988 + 872 + 1518) + 4*(872 + 1518) + 2*(1518) \\ &= 29536 \end{aligned}$$

c_{ts}	1	2	3	4
1	4990	12838	29536	77964
2	-	4400	15206	28956
3	-	-	9158	21695
4	-	-	-	5642

TABLE 4.23 – les coûts d’approvisionnement c_{ts} de Maïs

Le coût final est $j_5 = 0$ et pour les quatre quarts de planification, nous obtenons successivement :

$$j_4 = c_{44} + j_5 = 5642 + 0 = 5642 \quad u^*(4) = 4$$

$$\begin{aligned} j_3 &= \min_{3 \leq s \leq 4} \{C_{3s+j_{s+1}}\} \\ &= \min \{21695, 14800\} = 14800 \quad u^*(3) = 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j_2 &= \min_{2 \leq s \leq 4} \{C_{2s+j_{s+1}}\} \\ j_2 &= \min \{1900, 20848, 28956\} = 1900 \quad u^*(2) = 2 \end{aligned}$$

$$j_1 = 24190 \quad u^*(1) = 1$$

Les valeurs précédents peuvent être résumées dans le tableau ci-après :

$$J^* = J_1 = 24190000 \text{ est le coût optimal}$$

Le plan d’approvisionnement optimal est donc :

t	1	2	3	4
j_t	24190	19200	14800	5642
$u^*(t)$	1	2	3	4

TABLE 4.24 – La table optimale

$$x_1^* = d_1 = 988$$

$$x_2^* = d_2 = 872$$

$$x_3^* = d_3 = 1518$$

$$x_4^* = d_4 = 1393$$

Plan d'approvisionnement d'Orge

Un plan d'approvisionnement optimal d'Orge correspond à la solution du problème de transbordement suivant :

$$\begin{aligned} \text{Min} z &= \sum_{t=1}^4 (K_t \delta_t + c_t x_t + h_t y_t) \\ \text{s.c.} \quad &\left\{ \begin{array}{ll} y_t = y_{t-1} + x_t - d_t & t = 1, 2, \dots, 4 \\ 0 \leq y_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 3 \\ 0 \leq x_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 4 \\ y_0 = 300, \quad y_4 = 0 \end{array} \right. \end{aligned}$$

La table suivante donne pour Chaque quart t, la demande d_t pour l'Orge et les couts (c_t , h_t et K_t).

t	1	2	3	4
d_t (tonne)	617	479	761	608
k_t (10000DA)	20	10	10	20
c_t (10000DA)	3	4	1	1
h_t (10000DA)	4	2	2	2

TABLE 4.25 – données d'Orge

Alors en calculant les coûts c_{t3} . Comme suit :

$$c_{13} = K_1 + c_1(d_1 + d_2 + d_3) + h_1(d_2 + d_3) + h_2 d_3$$

$$c_{13} = 12073$$

C_{ts}	1	2	3	4
1	1871	4469	12073	18761
2	-	1926	6592	16010
3	-	-	771	2595
4	-	-	-	628

TABLE 4.26 – les coûts d’approvisionnement c_{ts} d’Orge

Le coût final est $j_5 = 0$ et pour les quatre quarts de planification, nous obtenons successivement :

$$j_4 = 628 \qquad u^*(4) = 4$$

$$j_3 = \min_{3 \leq s \leq 4} \{C_{3s+j_{s+1}}\}$$

$$j_3 = 1399 \qquad u^*(3) = 3$$

$$j_2 = \min_{2 \leq s \leq 4} \{C_{2s+j_{s+1}}\}$$

$$j_2 = 3325 \qquad u^*(2) = 2$$

$$j_1 = 5196 \qquad u^*(1) = 1$$

Les valeurs précédents peuvent être résumées dans la table optimale :

t	1	2	3	4
j_t	5196	3325	1399	628
$u^*(t)$	1	2	3	4

TABLE 4.27 – La table optimale

$J^* = J_1 = 51960000$ est le coût optimal

Le plan d’approvisionnement optimal est donc :

$$x_1^* = d_1 = 617$$

$$x_2^* = d_2 = 479$$

$$x_3^* = d_3 = 761$$

$$x_4^* = d_4 = 608$$

Plan d’approvisionnement de Soja

Un plan d’approvisionnement optimal de Soja correspond à la solution du problème de transbordement suivant :

$$Min z = \sum_{t=1}^4 (K_t \delta_t + c_t x_t + h_t y_t)$$

$$s.c \left\{ \begin{array}{ll} y_t = y_{t-1} + x_t - d_t & t = 1, 2, \dots, 4 \\ 0 \leq y_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 3 \\ 0 \leq x_t \leq 2000, & t = 1, 2, \dots, 4 \\ y_0 = 190, \quad y_4 = 0 \end{array} \right.$$

La table suivante donne pour Chaque quart t , la demande d_t pour le Soja et les couts (c_t , h_t et K_t).

t	1	2	3	4
d_t (tonne)	316	445	573	465
k_t (10000DA)	70	50	50	50
c_t (10000DA)	5	4	5	5
h_t (10000DA)	5	2	1	4

TABLE 4.28 – données de Soja

La première étape dans la recherche consiste à déterminer un plan d’approvisionnement optimal

Alors en calculant les coûts c_{ts} . Comme suit :

$$\begin{aligned} c_{12} &= K_1 + c_1(d_1 + d_2) + h_1(d_2) \\ &= 70 + 5*(316+445) + 5*(445) \\ &= 6100 \end{aligned}$$

c_{ts}	1	2	3	4
1	1650	6100	12976	19021
2	-	1830	5268	7485
3	-	-	2915	5705
4	-	-	-	2375

TABLE 4.29 – les coûts d’approvisionnement c_{ts} de Soja

Le coût final est $j_5 = 0$ et pour les quatre quarts de planification, nous obtenons successivement :

$$\begin{aligned}
 j_4 &= 28250 & u^*(4) &= 4 \\
 j_3 &= \min_{3 \leq s \leq 4} \{C_{3s+j_{s+1}}\} \\
 j_3 &= 61550 & u^*(3) &= 4 \\
 j_2 &= \min_{2 \leq s \leq 4} \{C_{2s+j_{s+1}}\} \\
 j_2 &= 79350 & u^*(2) &= 4 \\
 j_1 &= 100150 & u^*(1) &= 1
 \end{aligned}$$

Les valeurs précédents peuvent être résumées dans la table optimale :

t	1	2	3	4
j_t	100150	79350	61550	28250
$u^*(t)$	1	4	4	4

TABLE 4.30 – La table optimale

$J^* = J_1 = 100150000$ est le coût optimal

Le plan d’approvisionnement optimal est donc :

$$\begin{aligned}
 x_1^* &= d_1 = 316 \\
 x_2^* &= d_2 = 1483 \\
 x_3^* &= d_3 = 0 \\
 x_4^* &= d_4 = 0
 \end{aligned}$$

4.3.2 Interprétation des résultats obtenus

On remarque pour le Maïs que les quantités de chaque quottas ne sont pas changées, et le même pour le cout totale de la gestion. Ça est exprimé par la somme des périodes $t = (2, 3)$, $t = (2, 3, 4)$ ou bien $t = (3, 4)$ qu’ils sont supérieurs à la capacité de stockage de cette matière qui est égale à 2000 tonnes.

Pour l’Orge, on remarque que le cout unitaire de de stockage h_t et le cout unitaire de consommation c_t sont très chers. Ça nous pousse à éviter d’approvisionner cette matière pour minimiser le cout total de la gestion.

pour le Soja, nous remarquons que les quantités de deux quottas x_3 et x_4 sont changées, et le même pour le cout total de la gestion. Car on peut approvisionner ces dernières au début de la deuxième trimestre et ça nous permettrons de minimiser le cout total de la gestion, en évitant le couts d’approvisionnement pour ces deux quottas.

4.3.3 Conclusion

La méthode du lissage exponentiel nous a permis de modéliser les séries chronologiques des données concernant les quantités produits de chaque aliment et les quantités consommées pour les matières premières.

L'objectif étant de déterminer les ventes futures des aliments fabriqués par l'entreprise, afin de lui de prendre ses dispositions en matières premières, pour faire face à la demande du marché.

L'étude statistique nous a permis d'ajuster les lois des demandes des matières premières, par une loi gaussienne, en vue d'estimer le cout total de gestion de stock au sein de l'UAB EL-Kseur, par une méthode de gestion rigoureuse.

L'objectif étant de déterminer un modèle de gestion de stock qui propose de lancer les commandes fixes dès que le niveau du stock atteint le point de commande pour L'UAB EL-Kseur et un plan d'approvisionnement des matières premières de manières à satisfaire sans retard la demande tout en minimisant la somme des coûts.

Conclusion générale

L'objet de ce travail était d'étudier un problème clé dans la gestion des stocks de matières premières relevé durant notre stage au sein de l'UAB EL-Kseur.

Durant ce travail, nos efforts ont été focalisés sur ces quatre points essentiels :

1. La classification ABC mettant en valeur les produits et les matières premières phares de l'UAB EL-Kseur.
2. Nous avons choisi deux produits et trois matières premières de la classe A.
3. L'étude prévisionnelle sur la consommation, en vue de déterminer les ventes futures des aliments fabriqués, afin de lui permettre de prendre ses dispositions en matières premières, pour faire face à la demande du marché.
4. Nous avons proposé un modèle à point de commande notée (Q,r) qui propose de lancer les commandes fixes dès que le niveau du stock atteint le point de commande et un plan d'approvisionnement des matières premières de manière à satisfaire sans retard la demande tout en minimisant les coûts d'approvisionnement.

Enfin, on a estimé les coûts de gestion au sein de l'UAB EL-Kseur. Cette étude peut être complétée pour les autres matières des classes B et C.

Nous n'aurons toutefois pas, la prétention de dire que notre travail est complet, ce qui est dû essentiellement au manque de données dont nous avons besoin lors de notre étude.

Comme perspective de notre travail, il est intéressant de proposer un modèle dynamique stochastique d'approvisionnement pour toutes les matières premières.

Bibliographie

- [1] S. Adjabi. *Cours de prévision*. Département Recherche Operatinnelle, Université de Bejaia, 2013.
- [2] B. Brahmi. *Cours de gestion des stocks*. Département Recherche Operatinnelle, Université de Bejaia, 2013.
- [3] A. Nicolas C. Goujet. *Mathématiques Appliquées : Probabilités-initiation à la recherche opérationnelle*. Masson édition, 1981.
- [4] Jean-François Hêche Thomas M.leibling et Dominique de Werra. *Recherche Opérationnelle pour ingénieurs, tome 2*. Presses polytechnique et universitaires romandes, Lansane, 2003.
- [5] S. Buchan et E. Koeniberg. *Gestion scientifique des stocks*. Edition Eyrolles, 1963.
- [6] A. Amraoui et F. Ouakli. *Modèle de prévision à court terme des commandes de voitures touristiques et utilitaires et modélisation par simulation de la gestion des stocks au sein de la SIMB*. Mémoire fin d'études ingénieur, Département Recherche Operatinnelle, Université de Bejaia, 1999.
- [7] A. Courtois et M. Pillet. *Gestion de production*. Organisation édition, 2003.
- [8] K. Gaiter. *L'entreprise et la gestion des opérations*. Hrw Edition, 1983.
- [9] J. Huillet. *Initiation à l'environnement R*. Notes de cours, Université de Paul Sabatier, Septembre 2002.
- [10] S. Benkeder K. Gueddoudj. *Gestion des stocks de pièces de rechange cas : RTC-Sonatrach*. Mémoire fin d'études ingénieur, Département Recherche Operatinnelle, Université de Bejaia, 2011.
- [11] J.D. Lenard. *Approche Multicritère de la Gestion des Approvisionnements*. Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Paris, 1996.

- [12] Bensalma S, Belkacem. N. *Gestion des produits finis au niveau de l'entreprise "les Moulins de la Soummam" Sidi-Aich*. Département Recherche Operatinnelle, Mémoire d'ingéniorat, Université de Bejaia, 2006.
- [13] M. Radjef S. Adjabi, D. Aissani. *Mathématiques Appliquées à l'industrie textile*. Lamos edition, Bejaia, 1991.
- [14] P. Zermati. *Pratique de la gestion des stocks*. 5 éme édition, Dunod, 1996.

Résumé

Pour une gestion optimale au sien de l'Unité des Aliments de Bétail EL-Kseur, l'application d'un modèle de gestion de stocks adéquat lui permet de satisfaire ses clients, tous en évitant les pénuries. Durant cette étude, on a effectué une classification "ABC " pour déterminer les produits finis phares, ainsi que les matières premières de l'unité. Ensuite, on a élaboré des modèles de prévision qui permettent de mieux voir l'évolution de la production et de la consommation dans un futur proche. Une étude statistique sur les demandes des matières premières sont ajustés par une loi gaussienne. Le modèle choisi (Q,r) qui propose de lancer des commandes fixes dès que le niveau du stock atteint le point de commande. Le plan d'approvisionnement de chaque matière première pour les quatres périodes de la planification est obtenu en résolvant un programme linéaire particulière et ce en utilisant le solveur d'Excel.

Mots clés : *Gestion des stocks, Problème de Transbordement, Aliments de Bétail, Programmation Linéaire, Solveur d'Excel.*

Abstract

For optimal management of EL-Kseur cattle's feed, applying an adequate inventory management model enables it to avoid shortages and satisfy its customers. In this study, we conducted a classification ABC to identify the key products and the raw materials, after we choose those belong to the class A, to predict theirs quantities for an enhanced evolution of production and consumption, by applying a smoothing exponential method of BROWN, after we get a statistical study of demand laws and choosing (Q,r) model. Finally we propose a provisioning plan of each raw material to meet up without delay demand while minimizing the total cost of management.

Key words : *Inventory Management Models , Transshipment Problem, Linear Programming, Excel Solver.*