

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	01
-----------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur les chaines logistiques

I.1. Introduction	02
I.2. La chaine logistique	02
I.2.1. L'entreprise	02
I.2.1.1. Définition de l'entreprise	02
I.2.1.2. Les Rôles de l'entreprise	02
I.2.1.3. Les objectifs de l'entreprise	03
I.2.1.4. Les Enjeux d'une entreprise	03
I.2.2. la logistique	04
I.2.2.1. Définition de la logistique	04
I.2.2.2. Les types de la logistique	05
I.2.3. La chaine logistique	05
I.2.3.1. Définition de la chaine logistique.....	05
I.2.3.2. L'objectif de la chaine logistique	08
I.2.3.3. Les fonctions de la chaine logistique	08
I.2.3.4. Les structures possibles de la chaine logistique	09
I.2.3.4.1. les structures typiques	09
I.2.3.4.2. les structures physiques	10
I.2.3.5. réseau d'entreprises et chaine logistique	11
I.2.3.5.1.L'entreprise multi-sites	11
I.2.3.5.2. L'entreprise virtuelle	11
I.2.3.5.3. L'entreprise étendue	11
I.2.3.6. Les flux de la chaine logistique.....	12
I.2.3.6.1. Flux d'information	12
I.2.3.6.2. Flux financier	12
I.2.3.6.3. Flux physique	12
I.2.3.7. Classification des entités de la chaine logistique	13
I.2.3.7.1. Classification physique	13

I.2.3.7.2. Classification fonctionnelle	13
I.2.3.7.3. Classification Organisationnelle	13
I.2.3.8. Les décisions de la chaine logistique	13
I.2.3.8.1. Décisions stratégiques.....	15
I.2.3.8.2. Décisions tactiques	15
I.2.3.8.3. Décisions opérationnelles	15
I.2.3.9. La performance de la chaine logistique	15
I.3. La gestion de la chaine logistique	16
I.3.1. Définition de la gestion de la chaine logistique	16
I.3.2. les objectifs de la gestion de la chaine logistique	18
I.4. Conclusion	19

Chapitre II : Définitions et généralités sur la planification (état de l'art)

II.1. Introduction	20
II.2. La planification de la chaine logistique	20
II.2.1. définition	20
II.2.2. Les objectifs de la planification	20
I.2.3. Les niveaux de la planification de la chaine logistique	21
II.2.3.1. planification stratégique.....	21
II.2.3.2. planification opérationnelle	22
II.2.3.3. planification tactique	23
II.3. planification de la production	23
II.3.1. Hiérarchie de planification	23
II.3.1.1. le plan prévisionnel de la demande	24
II.3.1.1.1. la réalisation des prévisions.....	24
II.3.1.1.2. les méthodes de prévisions	25
II.3.1.1.2.1. Les méthodes qualitatives.....	25
II.3.1.1.2.2. Les méthodes quantitatives	26
II.3.1.1.2.2.1. Les méthodes de série chronologique	27
II.3.1.1.2.2.1.1. Les méthodes de lissage exponentiel.....	27
II.3.1.2. l'étape de la planification agrégée	30

II.3.1.2.1. Définition	30
II.3.1.2.2. L'agrégation est effectuée en	32
II.3.1.2.3. Les informations requises pour la planification agrégée	32
II.3.1.2.4. Les coûts à considérer	32
II.3.1.2.5. Politique générale de la planification	33
II.3.1.2.6. Outils de calcul et d'optimisation	34
II.3.1.2.6.1. Caractéristiques des modèles et performances	34
II.3.1.2.6.2. Classification des modèles mathématiques	35
II.3.1.3 le plan maître de production	39
II.3.1.4. le plan matière	39
II.3.1.5. Ordonnancement des tâches	39
II.4. Conclusion	39

Chapitre III : présentation de l'entreprise

III.1. Introduction	41
III.2. Fiche technique de l'entreprise	41
III.3. Historique	42
III.4. Organisation de l'entreprise	43
III.5. Les Fonctions des départements de l'entreprise	44
III.5.1. Département Approvisionnement	44
III.5.2. Département de production	44
III.5.3. Département Commerciale et marketing	44
III.5.4. Département Comptabilité et finance	44
III.5.5. Département Ressources Humaines	45
III.5.6. Département Assurances de la qualité	45
III.5.7. Département Organisation et contrôle de gestion	45
III.6. Le processus de production	45
III.6.1. Les produits fabriqués	45

III.6.2. Les Matières premières	45
III.6.3. Les étapes de production	46
III.6.3.1.Traitement des eaux	46
III.6.3.2.la production du sirop	47
III.6.3.3.la production des boissons gazeuses en PET	49
III.6.3.4.la production des boissons en RB100	51
III.6.3.5.La production des boissons en RB25	53
III.6.4. Contrôle de Qualité	55
III.6.4.1.Contrôle qualité Matières premières	55
III.6.4.2.Contrôle produit fini	55
III.6.5. Les caractéristiques de chaque ligne	55
III.6.5.1.La ligne PET	55
III.6.5.2.La ligne RB100	55
III.6.5.3.La ligne RB25	55
III.7. Les principaux problèmes	56
III.8. Le problème étudié	57
III.9. Conclusion	57
 Chapitre IV : Contribution à une approche prévisionnel des ventes et modélisation de la production, le stockage et les pannes par la planification agrégée	
IV.1. Introduction	58
IV.2. Description de la problématique	58
IV.3. Adaptation de la planification de production	59
IV.3.1. Le plan prévisionnel	59
IV.3.1.1. La réalisation de prévisions	59
IV.3.1.2. La Programmation MATLAB	64
IV.3.2. La planification agrégée.....	65
IV.3.2.1. Les données	65

IV.3.2.2. Les Modèles mathématiques	67
IV.3.2.2.1. Modèle 01	67
IV.3.2.2.2. Modèle 02	71
IV.4. Conclusion	78

Chapitre V : Résultats et interprétation

V.1. Introduction	79
V.2. les résultats	79
V.2.1. le plan prévisionnel	79
V.2.1.1. la ligne PET	79
V.2.1.2. la ligne RB100	81
V.2.1.3. la ligne RB25	82
V.2.2. planification agrégée	84
V.2.2.1. les résultats de modèle 01	84
V.2.2.1.1. la ligne PET	85
V.2.2.1.2. la ligne RB100	91
V.2.2.1.3. la ligne RB 25	95
V.2.2.2. les résultats de modèle 02	100
V.2.2.2.1. le premier cas : cas idéal	100
V.2.2.2.1.1. la ligne PET	101
V.2.2.2.1.2. la ligne RB100	104
V.2.2.2.1.3. la ligne RB25	106
V.2.2.2.2. le deuxième cas	109
V.2.2.2.2.1. la ligne PET	109
V.2.2.2.2.2. la ligne RB100	112
V.2.2.2.2.3. la ligne RB25	114
V.2.3. La Comparaison entre le modèle mono-ligne et multi-ligne	117
V.2.3.1. le volume horaire totale	117

V.2.3.2. le cout global de la main d'œuvre	117
V.2.3.3. le profit	118
V.3. Conclusion	118
Conclusion générale	119

ClicCours.com

Introduction générale :

Dans le contexte économique actuel, les problèmes liés à la gestion de production sont cruciaux pour les entreprises. L'évolution rapide des techniques de production, les exigences de la part des clients et le nouveau contexte compétitif ont engendré de nombreux problèmes. Il devient à classer les décisions en gestion de production selon l'horizon de temps sur lesquelles elles s'appliquent. Ces décisions sont à long terme pour les visions stratégiques, et à moyen terme pour les décisions tactiques et enfin à court terme dans le cas des considérations opérationnelles en temps très court.

Il en résulte alors, que cette décomposition a permis de simplifier le processus décisionnel, où les décisions prises à un niveau deviennent des contraintes à satisfaire ou des objectifs à atteindre pour les niveaux inférieurs.

Parmi les niveaux de décision à l'échelle tactique, nous distinguons l'importance de la planification de la production. Principalement, elle permet de relier les deux niveaux de planification stratégique et opérationnelle, son objectif primordial est de déterminer un plan de la production, des approvisionnements et de la distribution à partir des demandes sous les contraintes des processus de production et disponibilités des ressources.

Dans ce mémoire, nous allons exploiter deux pistes de recherches au sein de l'entreprise L'Exquise. La première piste est de la cadre d'évaluation des prédictions des ventes de l'année 2016, par rapport aux historiques des ventes des années passées. Cependant, dans la deuxième piste et afin de maximiser le profit et minimiser l'ensemble des coûts liés à la production, nous étudions la planification agrégée de la production par modélisation mathématique en entier mixte MILP.

Le manuscrit de ce mémoire est scindé en cinq chapitres. Dans les chapitres un et deux, nous présentons une recherche bibliographique qui concerne un état de l'art qui regroupe respectivement les concepts, les définitions des chaînes logistiques et les fondements de la planification. Sachant que notre étude est dans le cadre d'une vision logistique de la planification et de gestion de stock chez l'entreprise L'Exquise, nous avons réservé le troisième chapitre à la description de cette entreprise de production de boissons gazeuses.

Pour notre contribution scientifique, le chapitre quatre fait, l'objectif de la présentation du modèle prévisionnel de Holt-Winter's et la description des modèles de planification agrégée multi-produit, multi-période avec considération de main d'œuvre permanente et saisonnière dans le cas de mono-ligne et multi-lignes. Dans le chapitre cinq, et à partir d'un calcul itératif et en s'appuyant sur l'historique des ventes des années passées, le plan prévisionnel de la demande de l'année 2016 a été établi. En suite à partir de l'optimisation des deux modèles de planification agrégée présentés dans le chapitre quatre, nous présentons et interprétons plusieurs résultats liés à la planification de la production. En fin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale avec des propositions de perspectives de recherche dans le futur.

1. Introduction :

Aujourd'hui, les entreprises doivent s'adapter à la dynamique du marché pour espérer survivre dans un environnement très concurrentiel et très compétitif. Les clients sont beaucoup plus exigeants en raison des nombreux choix qui s'offrent à eux. La satisfaction des clients combinée à la réduction des coûts est difficile à réaliser. Ainsi, les nouvelles technologies de l'information et de la communication qui ont révolutionné la manière avec laquelle doivent être gérées les entreprises.

Le concept de la chaîne logistique s'impose comme un vecteur clé de la compétitivité des entreprises. Ce dernier n'était qu'une extension des pratiques de la logistique à un nombre plus grand de partenaires d'affaires, il a émergé avec l'objectif d'une optimisation globale du système. Les contraintes physiques et les coûts engendrés sont considérés dans le même modèle à fin d'être optimisés en une seule fois.

Ce chapitre a pour objectif de donner quelques généralités et définitions de la chaîne logistique. Il est ainsi scindé en deux grandes parties, la première traite la chaîne logistique et la seconde parle sur la gestion de la chaîne logistique.

2. La chaîne logistique (Supply Chain SC) :

2.1. L'entreprise ?

2.1.1. Définition de l'entreprise :

L'entreprise est un agent économique ayant pour principale activité la production de biens ou services et la réalisation de profits.

A fin de pouvoir organiser l'entreprise et manager les travailleurs, des techniques se sont mis en place ; c'est ce qu'on appelle le management. Grâce à ces techniques d'organisation, l'entité va pouvoir être administrée pour obtenir des performances souhaitées.

2.1.2. Les rôles de l'entreprise :

L'entreprise a deux rôles indissociables et indispensables sont : économique et social

- L'entreprise en tant qu'unité économique a des missions telles que :
 - ✓ la réalisation des profits
 - ✓ la création de valeur ajoutée pour le pays, ce qui va correspondre au PIB (Produit Intérieur Brut).
 - ✓ Ses autres missions consistent en l'optimisation de l'assemblage des facteurs de production (les plus connus sont le capital et le travail) afin que ceux-ci soient utilisés de manière efficiente, et bien entendu accroître les parts de marché.
- En tant qu'institution, l'entreprise a un rôle social dont ses missions sont :
 - ✓ l'intégration des hommes dans la société, ce qui signifie qu'il faut que le personnel de l'entreprise s'intègre dans système économique où il participe aussi au bon déroulement et développement de son pays.

- ✓ L'entreprise a également un rôle de formation, qui va permettre au personnel et aux jeunes diplômés d'être formés afin d'être capable de travailler dans le système de production de l'usine.
- ✓ Afin d'intégrer totalement les hommes, l'entreprise va essayer de développer au maximum les solidarités entre les membres du personnel, et de donner à tous les mêmes chances de réussite [5].

2.1.3. Les objectifs de l'entreprise :

Les objectifs de l'entreprise sont:

- **Les objectifs stratégiques** qui vont orienter les projets comme par exemple la création d'un nouveau produit ou d'un nouveau procédé qui va agir sur l'environnement de l'entreprise.
- **Les objectifs tactiques** qui vont être une réponse à une attente, par exemple : un changement externe qui va avoir un impact sur la gestion de l'entreprise comme la réduction des emballages ou la vente sans emballage face à la demande croissante du respect de l'environnement, et du recyclage des déchets.

Ces objectifs ont pour but de réaliser la finalité de l'entreprise qui est **la rentabilité**.

2.1.4. Les Enjeux d'une entreprise:

Les enjeux sont toutes les conséquences positives ou négatives pour telles décisions prises. Ils font partie du quotidien des organisations. Effectivement les enjeux vont être déterminants pour l'entreprise. Ils sont nombreux et variés tels que :

- **La production** est la fonction première d'une entreprise car l'entreprise industrielle existe par sa production. Produire toujours plus et toujours plus vite permettrait à l'entreprise de pouvoir offrir une quantité importante de produits afin de faire face aux augmentations inattendues de la demande.
- **La taille critique** est un enjeu majeur pour l'entreprise car c'est grâce à cette taille minimale qu'elle va pouvoir rester sur le marché et être encore compétitive.
- **La part de marché** va déterminer la place qu'occupe la société sur un marché donné et c'est grâce à cela qu'il sera possible d'accéder ou non à la place de leader.
- **L'optimisation des coûts** est une stratégie pour l'entreprise qui cherche à réduire au maximum les coûts soit pour baisser ses marges et pour en faire profiter le consommateur en diminuant le prix de vente.
- **La différenciation de l'offre** est une tactique permettant l'identification par le consommateur et cela en proposant une offre personnalisée bien distincte des autres vendeurs. Cette distinction devra être visible, telle que la stratégie fournie, donne la possibilité pour l'entreprise de proposer des produits pouvant être distingués de la concurrence en dehors du facteur prix.
- **La satisfaction du client** est un investissement clé qui va être au centre des stratégies et qui va guider les décisions et la production. Une parfaite connaissance de la demande

permet à l'entreprise d'être davantage à l'écoute du client et donc être en mesure de mieux répondre à ses attentes.

- **L'innovation** est un enjeu important surtout pour les entreprises situées dans des secteurs en développement. En effet, la performance de l'entreprise va dépendre de sa capacité d'innovation et de création de nouveau concept ou produit.
- **La qualité** est un critère essentiel pour la plupart des consommateurs. Elle prouve la capacité de l'entreprise à produire des biens ayant une bonne résistance, une longue durée de vie ou encore un bon service Après-vente.
- **La fidélisation du client** est primordiale pour la pérennité de l'entreprise. Cette fidélisation va permettre d'avoir un certain nombre de ventes assurées. La fidélisation découle de la satisfaction du client, de l'innovation mais aussi de la qualité.
- **Le taux de qualité de service** correspond à la proportion de commandes qui ont été satisfaites par rapport au nombre total de commandes. Ce taux va donc être un indicateur important pour la réussite de l'entreprise. C'est-à-dire, pour augmenter le taux l'entreprise, il faut essayer de rapprocher au maximum le nombre de commandes livrées et le nombre total des commandes.
- **La réponse efficace au consommateur (Efficient Customer Response (ECR))** : Ce concept de collaboration vise à gérer en commun les approvisionnements, les promotions et les nouveaux produits de manière à réduire les volumes et les délais de stockage et ainsi les délais de réaction du producteur.

2.2. La logistique :

2.2.1. Définition de la logistique :

On cite souvent la définition d'origine militaire : « **La logistique consiste à apporter ce qu'il faut, là où il faut et quand il le faut.** »[18]

Dans le milieu industriel, la logistique est définie comme un lien opérationnel entre les différentes activités de l'entreprise, assurant la cohérence et la fiabilité des flux de matière avec une meilleure qualité de service, aux clients et ceci tout en permettant l'optimisation des ressources et la réduction des coûts.

Par ailleurs, une autre définition de la logistique au service de l'entreprise est :

« La logistique est le processus stratégique par lequel l'entreprise organise et soutient son activité. A ce titre, on peut déterminer et gérer les flux matériels et informationnels afférents, tant internes qu'externes, en amont qu'en aval. »

La fonction logistique désignerait ainsi la gestion des flux physiques de matières premières et de produits ainsi que celle des flux d'information, c'est à dire les transports, les entrepôts, l'informatique, etc.

2.2.2. Les Types de la logistique:

Il existe plusieurs types de logistiques :

- Logistique d’approvisionnement qui permet d’alimenter les stocks des entreprises et usines en matières premières, composants et sous-ensembles nécessaires à la production.
- Logistique de production qui consiste à transformer les matériaux et les composants en produits au niveau des lignes de production.
- Logistique militaire qui a pour objectif d’assurer la mise en œuvre des opérations sur les ressources nécessaires à la production et maintenir leur soutien.
- Logistique de distribution qui consiste à acheminer les produits vers le client final ou le consommateur.
- Rétro-logistique qui consiste à reprendre des produits dont le client ne veut pas ou qu’il veut faire réparer, ou encore des produits à traiter en déchets industriels.

Il y a donc bien des logistiques différentes jusqu’à ce que le concept de *supply chain* ne vienne apporter une certaine unité en ce domaine. [23]

2.3. La chaîne logistique :

2.3.1. Définition La chaîne logistique :

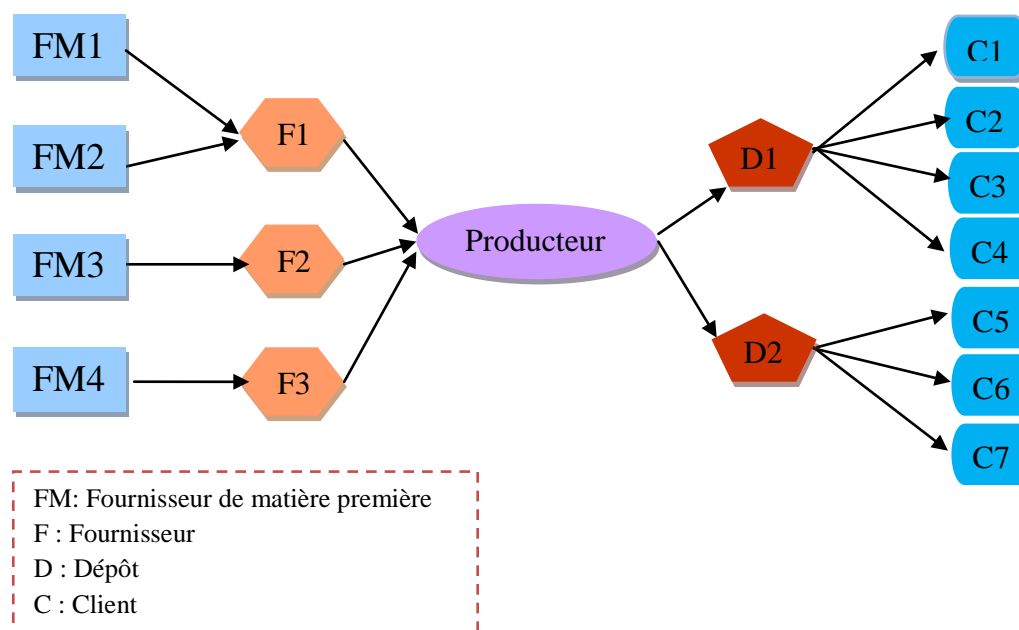


Figure I.1: architecture classique d’une chaîne logistique [19]

De nombreuses définitions de la chaîne logistique ont été proposées dans la littérature selon deux visions différentes :

- la première vision consiste à mettre le produit ou le service comme critère d’identification des acteurs de la chaîne.

- La deuxième vision centre la chaîne logistique sur l'entreprise principale.

Le terme « chaîne logistique » vient de l'anglais Supply Chain qui signifie littéralement « chaîne d'approvisionnement ». Il existe une multitude de définitions de la « chaîne logistique », il n'y a pas une définition universelle de ce terme.

Et voilà quelques définitions des différents auteurs de la chaîne logistique [15]:

Christopher 1992 : La chaîne logistique peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final.

Lee et Billington 1993 : La chaîne logistique est un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client.

La Londe et Masters, 1994 : Une chaîne logistique est un ensemble d'entreprises qui se transmettent des matières. En règle générale, plusieurs acteurs indépendants participent à la fabrication d'un produit et à son acheminement jusqu'à l'utilisateur final. Ces acteurs sont respectivement : les producteurs de matières premières et de composants, l'assembleur, les grossistes, ainsi que les distributeurs et transporteurs qui sont membres de la chaîne logistique.

Ganeshan 1995 : Une chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre.

Tayur 1999 : la chaîne logistique est système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens

Stadlter et Kilger 2000 : Une chaîne logistique est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physique, informationnel et financier. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis, des prestataires de service logistique et même le client final lui-même.

Rota-Franz 2001 : La chaîne logistique d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime. **Mentzer 2001** : Une chaîne logistique est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client.

Génin 2003 : Une chaîne logistique est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre.

Lummus et Vokurka 2004 : Toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matière première et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités.

Feniès 2006 : La chaîne logistique est un système complexe décrit comme: un ensemble ouvert traversé par des flux financiers, matériels et informationnels, et un réseau composé d'entités physiques (usines, ateliers, entrepôts, distributeurs, grossistes, détaillants) et d'organisation autonomes (firmes, filiales, business unit, etc.) et de même un ensemble d'activités regroupées dans un processus logistique dont l'agencement constitue une chaîne de valeur intra et inter-organisationnelle

Amrani Zouggar, 2009 : La chaîne logistique peut être considérée comme un ensemble d'activités en réseau, incluant différents partenaires, coordonné par des flux matériels et informationnels échangés, visant à satisfaire au mieux les besoins des clients.

La chaîne logistique peut ainsi se définir en tant que :

- succession de relations Client /Fournisseur.
- succession d'activités de création de valeur.
- fonctions ou processus : approvisionnement, transformation, distribution.

Les différentes définitions de la chaîne logistique reprennent cependant un certain nombre d'idées communes:

- 1) Une chaîne logistique se rapporte généralement à un produit fini ou à une famille de produits finis donnés.
- 2) Elle fait intervenir plusieurs entreprises.
- 3) Ces entreprises sont liées entre elles par trois flux: le flux d'information (passage de commandes, par exemple), le flux physique (transfert de marchandises) et le flux financier (règlement des achats).
- 4) Chacune des entreprises partenaires assure les fonctions d'approvisionnement, de transformation/production, de distribution et de vente. Ce sont les 4 processus clés que l'on rencontre dans toute entreprise.
- 5) Enfin, une entreprise est potentiellement impliquée dans plusieurs chaînes logistiques. En effet, une entreprise cherche généralement à multiplier ses entreprises-clients et ses produits peuvent servir à l'élaboration de plusieurs produits finis [10].

2.3.2. L'objectif de la chaîne logistique:

Maximiser la création de la valeur totale :

- Valeur de la chaîne est définie par la différence entre la valeur du produit pour un client et les coûts déployés dans la chaîne pour satisfaire la demande du client.
- Cette valeur est corrélée avec la rentabilité de la chaîne logistique. Soit la différence entre le revenu et les coûts de la chaîne.

2.3.3. Les Fonctions de la chaîne logistique :

La définition suivante de la chaîne logistique donne un aperçu des fonctions de la chaîne logistique : « une chaîne logistique est le réseau des moyens de production et de distribution qui assurent les tâches d'approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en produits semi finis et en produits finis, et la distribution de ces produits finis aux clients ». Plus généralement, les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution.

- **L'approvisionnement** : Il constitue la fonction la plus en amont de la chaîne logistique. Les matières et les composants approvisionnés constituent de 60% à 70% des coûts des produits fabriqués dans une majorité d'entreprises. Réduire les coûts d'approvisionnement contribue à réduire les coûts des produits finis, et ainsi à avoir plus de marges financières. Les délais de livraison des fournisseurs et la fiabilité de la distribution influent plus que le temps de production sur le niveau de stock ainsi que la qualité de service de chaque fabricant.
- **La production** : La fonction de production est au cœur de la chaîne logistique, il s'agit là des compétences que détient l'entreprise pour fabriquer, développer ou transformer les matières premières en produits ou services.
- **Le stockage** : Le stockage inclut toutes les quantités stockées tout au long du processus en commençant par le stock de matières premières, le stock des composants, le stock des en-cours et finalement le stock des produits finis. Les stocks sont donc partagés entre les différents acteurs : les fournisseurs, les producteurs et les distributeurs. Ici aussi se pose la question de l'équilibre à trouver entre une meilleure réactivité et la réduction des coûts. Il est évident que plus on a de stocks, plus la chaîne logistique est réactive aux fluctuations des demandes sur le marché.
- **Distribution et transports** : La fonction transport intervient tout au long de la chaîne :
 1. le transport des matières premières
 2. le transport des composants entre les usines
 3. le transport des composants vers les centres de distribution
 4. la livraison des produits finis aux clients.

Le rapport entre la réactivité de la chaîne et son efficacité peut être vu par le choix du mode de transport (transport par avion, transport par voie ferrées ou par camions).

Généralement, l'ensemble des partenaires combinent ces modes de transport et les adapter à certaines situations selon l'importance de la demande et le gain total engendré.

- **La vente :** La fonction de vente est la fonction finale dans une chaîne logistique, son efficacité dépend des performances des fonctions en amont. Si on a bien optimisé pendant les étapes précédentes, alors on facilite la tâche du personnel chargé de la vente, car ils pourront offrir des prix plus compétitifs que la concurrence, sinon les marges seront très étroites et les bénéfices pas très importants, voire même engendrer des pertes [1].

2.3.4. Les structures possibles de la chaîne logistique :

2.3.4.1. Structures typiques:

La définition de structures de chaînes logistiques reflétant l'ensemble des cas réels est difficile tant la variété des types de fabrications et des périmètres de chaînes est grande. Certains auteurs se sont attachés à extraire des cas réels des typologies caractéristiques :

Par exemple, Huang (2003) décomposent précisément les structures typiques de chaînes logistiques en : *Série* ; *Divergente* ; *Dyadique* ; *Convergente* et *Réseau* présentées en (figure I.2). Ces structures typiques ont pour but d'offrir des cadres de modélisation pour l'étude des chaînes logistiques et sont orientées sur des processus spécifiques.

- **La structure série :** correspond à un procédé de fabrication linéaire et vertical. Cette structure peut être utilisée, par exemple, pour étudier l'influence de la propagation de l'information sur l'ensemble de la chaîne.
- **La structure divergente :** permet de modéliser un réseau de distribution avec pour objectif, par exemple, d'étudier la localisation des sites de distribution ou leur dimensionnement.
- **La structure convergente :** représente un processus d'assemblage dans lequel le choix des fournisseurs peut être un sujet d'étude.
- **La structure réseau :** est la composition d'une structure convergente et divergente permettant de prendre en compte des chaînes logistiques plus complexes.
- **La structure dyadique :** peut être vue comme un cas particulier d'une chaîne en série limitée à 2 étages. Elle peut servir de base à l'étude de relations client / fournisseur ou donneur d'ordre / sous-traitant [8].

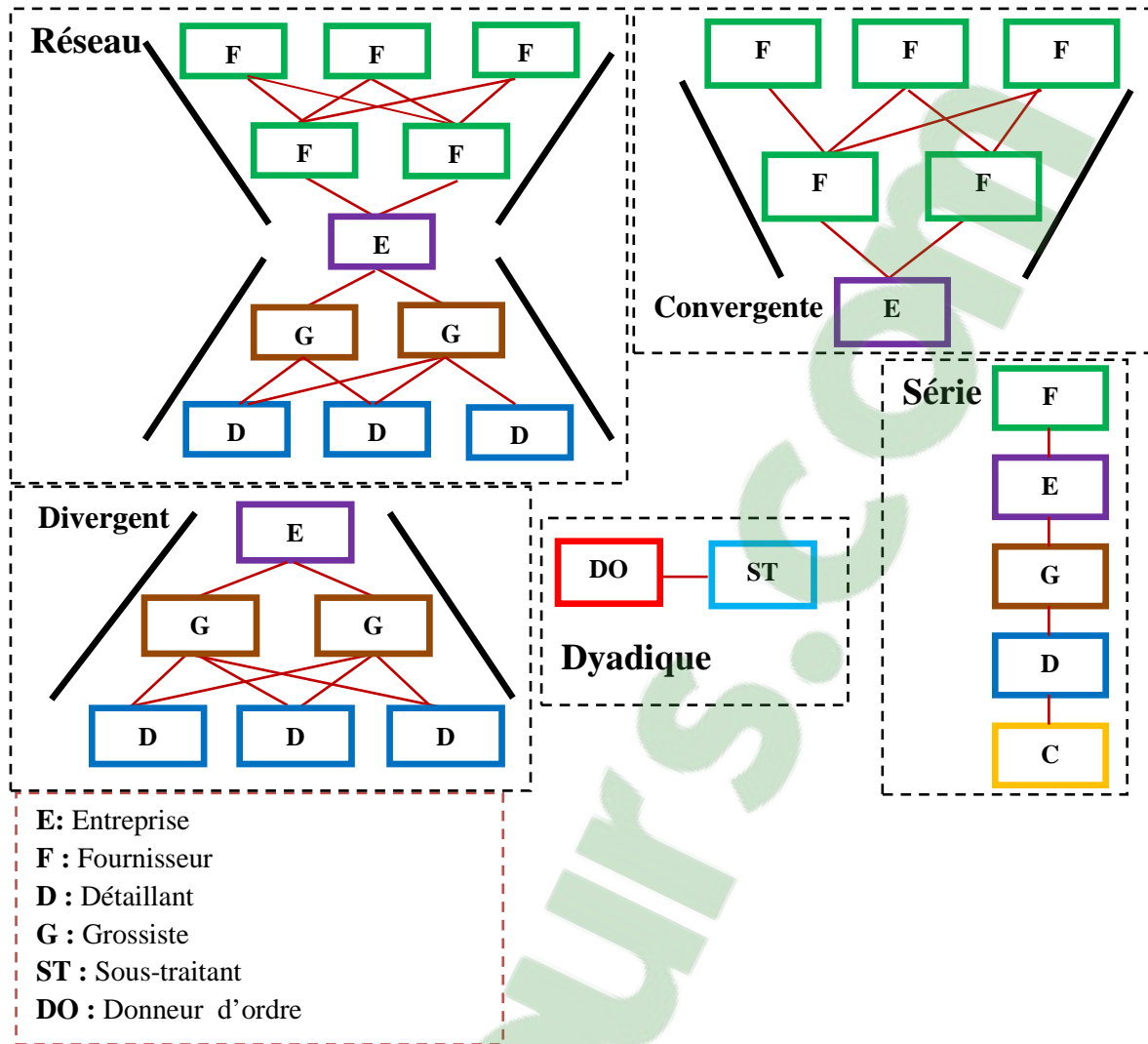


Figure I.2 : Structures typiques de la chaîne logistique [8]

2.3.4.2. Structures physiques :

La structure d'une chaîne logistique dépend évidemment de sa nature et des objectifs souhaités lors de sa conception. Plusieurs architectures ont ainsi été développées. Du point de vue flux physique, elles peuvent être classifiées comme suit (figure I.3):

- **Divergente** : une chaîne est dite divergente si un fournisseur alimente plusieurs clients ou un réseau de magasins.
- **Convergente** : une chaîne est dite convergente si un client est alimenté par plusieurs fournisseurs de différents réseaux de distribution. Cette structure est également présente dans les réseaux d'assemblage.
- **Réseau** : C'est la combinaison des deux précédentes structures. Elle peut être assimilée au réseau informatique (centralisation et distribution).
- **Séquentielle** : (ou linéaire) chaque entité de la chaîne alimente une seule autre entité en aval [10].

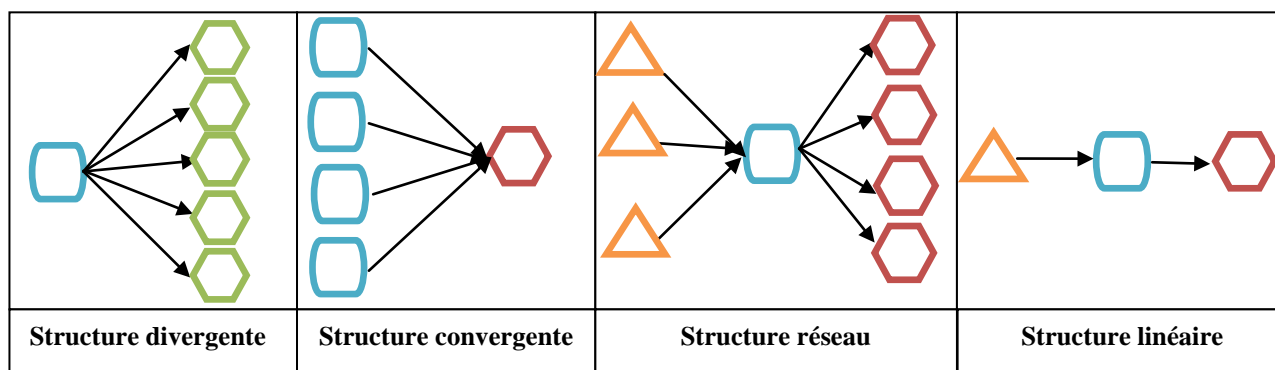


Figure I.3: structures physiques des chaînes logistiques [19]

2.3.5. Réseaux d'entreprises et chaînes logistiques

D'une manière générale, un réseau d'entreprises désigne des entreprises qui entrent en liaison pour répondre à un besoin précis. Les réseaux d'entreprises ne sont pas obligatoirement basés sur le processus d'élaboration complet d'un produit fini donné, ce qui les distingue des chaînes logistiques.

Cependant, dans le cas contraire, le réseau n'est autre qu'une chaîne logistique. Ainsi, la concept « réseau d'entreprises » est très général et peut inclure celui de la chaîne logistique. La littérature distingue les catégories suivantes de réseaux d'entreprises :

2.3.5.1.L'entreprise multi-sites :

Fait référence à une entreprise dont la production est répartie sur plusieurs sites distingués géographiquement. Juridiquement, les sites font partie de l'entreprise mère.

2.3.5.2.L'entreprise virtuelle :

Est un réseau d'entreprises, géographiquement dispersées et juridiquement indépendantes qui sont gérées comme une seule entité. La caractéristique majeure d'une entreprise virtuelle est qu'elle représente un réseau collaboratif temporaire, créé pour répondre à un marché bien spécifique et dont la durée de vie est limitée à celle du marché visé. Dans ce réseau, les entreprises partenaires vont faciliter le partage rapide de leurs ressources et la circulation des informations pour dégager une meilleure exploitation des opportunités du marché.

2.3.5.3.L'entreprise étendue :

Contrairement à l'entreprise virtuelle, une entreprise étendue est un réseau d'entreprises ayant une relation durable pour faire face à la concurrence dans le marché. Les entreprises partenaires sont juridiquement indépendantes mais partagent un même système de gestion d'une manière plus ou moins complète.

2.3.6. Les flux d'une chaîne logistique [16] :

On distingue trois types de flux échangés entre les membres d'une même chaîne logistique : le flux d'information, le flux financier et le flux physique

2.3.6.1. Flux d'information :

Est composé d'un flux de donnée et d'un flux de décision qui sont essentiels au bon fonctionnement d'une chaîne logistique. En effet, c'est par la connaissance du fonctionnement des autres maillons de la chaîne qu'un gestionnaire peut prendre les meilleures décisions pour le fonctionnement de sa propre entreprise ou service.

2.3.6.2. Flux financier :

Les flux financiers constituent les échanges des valeurs monétaires. Ces flux sont créés avec les différentes activités que subissent les flux physiques, tel que la production, le transport, le stockage, le recyclage, etc. Ils sont également utilisés comme un indicateur de performance du fonctionnement de ces activités.

2.3.6.3. Flux physique :

Appelés également flux de produits, le flux physique décrit les matières qui circulent entre les différents maillons de la chaîne. Ces matières peuvent être des composants, des produits semi-finis, des produits finis ou des pièces de rechange. Ce flux constitue le cœur d'une chaîne logistique, sans lequel les autres flux n'existeraient pas. Il peut être regroupés en trois étapes : produire (ou transformer), stocker et transporter. Ces activités sont généralement assurées par des acteurs différents spécialisés dans chacun des domaines.

La notion de chaîne logistique implique que les entreprises prennent en considération leur environnement à travers les trois flux mis en évidence. Cet environnement peut se déformer en fonction des objectifs et des alliances que les acteurs établissent entre eux. Ainsi, selon ces alliances, plusieurs structures de chaîne logistique peuvent être identifiées

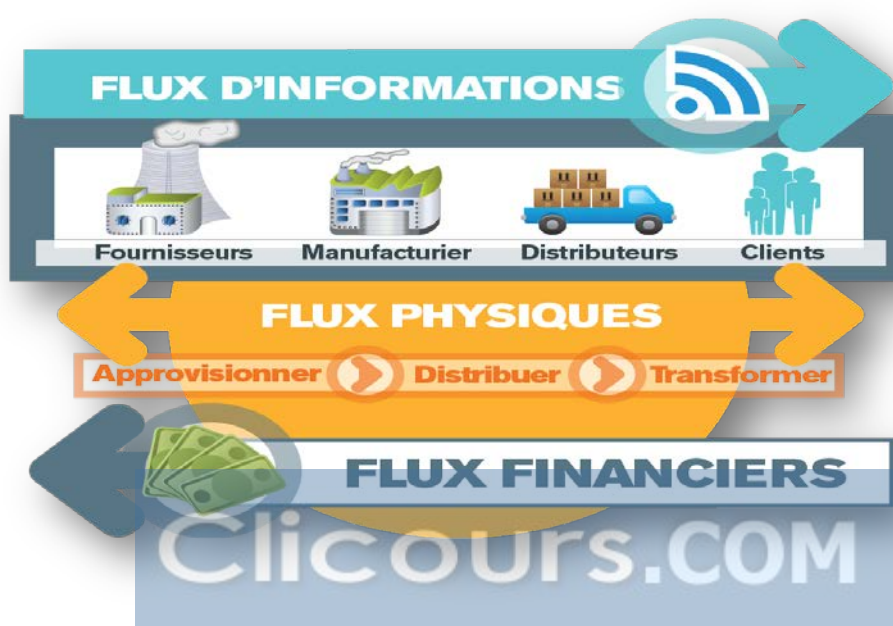


Figure I.4 : les flux de la chaîne logistique [1]

2.3.7. Classifications des entités de la chaîne logistique :

Les entités d'une même chaîne logistique peuvent être classifiées selon trois critères : physique, organisationnel et fonctionnel.

2.3.7.1. Classification physique :

Trois types d'entités physiques sont présentés dans une chaîne logistique :

- **Les sites** : Ils peuvent être des sites de production ou de stockage.
- **Les marchandises** : qui peuvent être de la matière première, des produits finis ou des produits semi-finis qui s'échangent entre les sites par des moyens de transports.
- **Les moyens de transport** : ils comportent les différents moyens de transport (flotte de camions, véhicules,...) qui assurent la circulation des marchandises entre les différents sites de la chaîne logistique.

2.3.7.2. Classification fonctionnelle : [10]

Les entités d'une même chaîne logistique peuvent être identifiées selon la fonction qu'elles assurent au sein de la chaîne. Les activités majeures au sein d'une chaîne logistique sont : le transport, le stockage et la production.

2.3.7.3. Classification organisationnelle :

Cette classification est généralement utilisée si la chaîne logistique est définie par rapport à une entreprise donnée. Elle consiste à identifier chaque acteur de la chaîne selon sa relation avec cette entreprise. Trois maillons essentiels sont alors distingués :

- **Achat et approvisionnement** : Ce maillon consiste à alimenter un système d'exploitation, tel qu'une ligne de fabrication ou un entrepôt par exemple, par de la matière première. C'est donc l'ensemble des entités qui viennent en amont de l'entreprise
- **Production** : Ce maillon est constitué des entités qui interviennent dans les différentes étapes de fabrication d'un produit donné. Il s'agit généralement des différents services de l'entreprise principale.
- **Distribution** : C'est l'ensemble des entités situées en aval de l'entreprise. et qui assure le transport des produits n'ayant plus besoin d'une transformation ultérieure, vers les clients.

Les entreprises appartenant à une même chaîne logistique sont reliées entre elles par plusieurs flux qui les traversent.

2.3.8. Les décisions dans la chaîne logistique :

Une décision peut être définie comme étant le problème de donner une valeur à une variable inconnue et dont la connaissance permet au décideur de sortir d'une situation de jugement ou d'incertitude. La conception d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions.

Cet ensemble de décisions peut s'envisager sur trois niveaux hiérarchiques : décisions stratégiques, décisions tactiques, et décisions opérationnelles. La figure suivante (I.5) montre

un tel schéma. Une telle hiérarchie est basée sur la portée temporelle des activités et sur la pertinence des décisions.

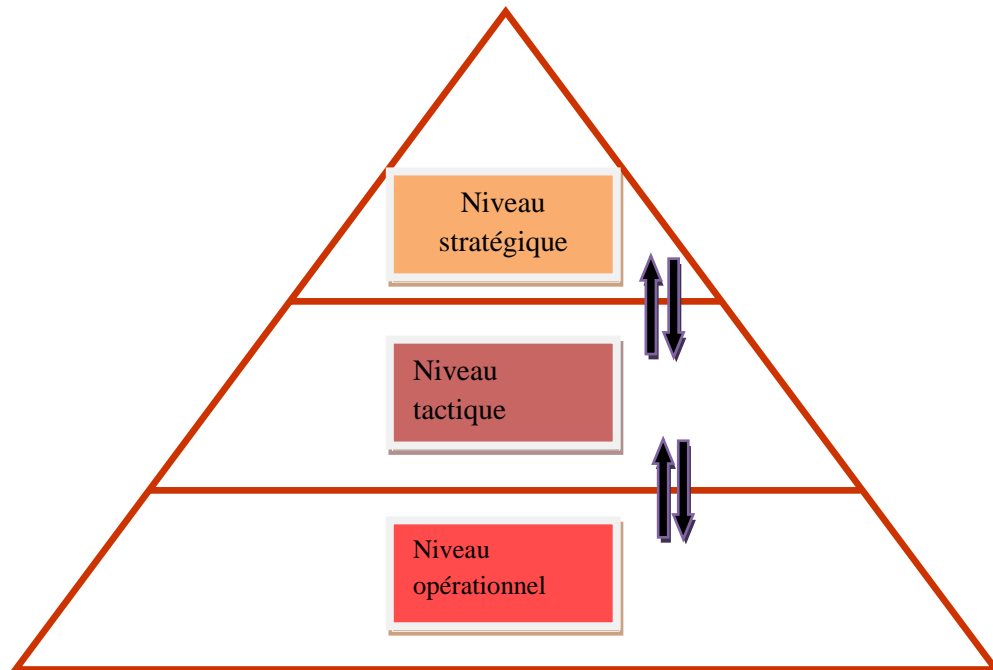


Figure 1.5 : pyramide des niveaux de décisions [15].

Il n'existe pas de méthode générique valable pour toutes les chaînes logistiques et toutes les industries pour classer les décisions qui doivent être prises.

La première différence entre ces trois niveaux de décision concerne la portée temporelle de l'application de la décision. Les décisions stratégiques sont à long terme, les décisions tactiques sont à moyen terme, et enfin les décisions opérationnelles sont à court terme.

La deuxième différence entre ces niveaux de décisions est le niveau d'agrégation : les décisions stratégiques sont au niveau de l'ensemble de l'entreprise, les décisions tactiques sont prises au niveau de l'usine, et les décisions opérationnelles sont prises au niveau de l'atelier.

La troisième différence est le niveau de responsabilité des décideurs. Les décisions stratégiques sont prises par la direction générale de l'entreprise, les décisions tactiques sont prises par les cadres, et les décisions opérationnelles sont prises par les responsables d'ateliers.

A cause de la complexité du problème d'optimisation des décisions, les trois types de décisions sont traités de manière séquentielle et hiérarchique. Néanmoins, il est important de prendre en compte l'impact des décisions stratégiques sur les niveaux tactiques et opérationnel. En effet, elles déterminent les solutions admissibles des niveaux tactique et opérationnel. Autrement dit, la solution optimale d'une décision tactique ou opérationnelle dépend de la solution prise au niveau stratégique. De la même manière, les décisions opérationnelles et tactiques peuvent influencer la prise de décisions au niveau stratégique lors de la conception même de la chaîne [15].

2.3.8.1. Les décisions stratégiques :

Les décisions stratégiques définissent la politique de l'entreprise sur le long terme, une durée s'étalant souvent sur plusieurs années. Elles comprennent toutes les décisions de conception de la chaîne logistique et de ce fait, elles ont une influence importante sur la stratégie concurrentielle et donc sur la viabilité à long terme de l'entreprise. Elles sont prises normalement par la direction de l'entreprise. Les décisions stratégiques configurent la chaîne logistique. [8]

2.3.8.2. Les décisions tactiques :

Les décisions tactiques sont prises sur un horizon de moins de 18 mois en général. Il s'agit de produire au moindre coût pour les demandes prévisibles, donc avec connaissance des ressources matérielles et humaines. Il s'agit en effet de faire la planification dépendant de la structure conçue au niveau.

2.3.8.3. Les décisions opérationnelles :

Les décisions opérationnelles sont prises pour un horizon de très court terme pour assurer la gestion des moyens et le fonctionnement au jour le jour de la chaîne logistique. Dans le cadre des chaînes logistiques, les entreprises ont besoin à tout moment de prendre des décisions avec un temps de réponse très court. La réactivité de la prise des décisions opérationnelles est un élément de mesure de la performance de la chaîne logistique [14].

2.3.9. La performance de la chaîne logistique :

La performance de la chaîne logistique se devrait de rendre compte les trois niveaux de la création de valeur que soutiennent les trois vues suivantes :

- **Perspective Position de marché** : une position de marché adaptée aux évolutions de la demande permet de proposer des produits/ services qui auront plus de valeur aux yeux des clients.
- **Perspective Ressources** : l'avantage lié à la maîtrise des ressources permet de s'adapter plus rapidement aux attentes du client en terme de complexité des éléments du produit (qualité, coût, délai, innovation, service, etc....).
- **Perspective Relationnelle** : la maîtrise de la relation que se soit avec les clients ou avec les autres partenaires de l'entreprise, permet de comprendre plus rapidement et de façon plus précise les attentes et les éléments de réponse à ses attentes.

L'évaluation de la performance de la relation des chaînes logistiques se réalise à plusieurs niveaux :

- **Au niveau individuel**: la contribution à une chaîne collaborative intervient sur la performance d'un point de vue concurrentiel (profit, part de marché, positionnement...) et d'un point de vue organisationnel (ressources, actifs, capacités, informations, connaissances,...).
- **Au niveau réseau** : la chaîne collaborative en tant que chaîne de valeurs qui s'oppose à d'autres chaînes de valeurs.
- **Au niveau sectoriel** : concerné par la question de la dynamique des groupes stratégiques et de cet ensemble de valeurs au sein du secteur.

3. La gestion de la chaîne logistique (supply chain management SCM):

3.1. Définition :

Une chaîne logistique existe dès lors qu'au moins deux entreprises travaillent sur l'achèvement d'un produit donné. Si et seulement si cette association est délibérément pilotée en vue d'en maximiser la performance, alors on peut parler de gestion de la chaîne logistique. Il existe ainsi une distinction entre la « chaîne logistique » et la « gestion de la chaîne logistique ».

Ici encore, on relève plusieurs définitions de la gestion de la chaîne logistique.

Voici quelques définitions : [15]

Jones et Riley (1985) : La gestion de la chaîne logistique est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique depuis les fournisseurs jusqu'à l'utilisateur final.

Berry et al. (1994) : La gestion de la chaîne logistique vise à construire une confiance, à échanger des informations sur les besoins du marché, à développer de nouveaux produits et à réduire la base de fournisseurs d'une entreprise afin de libérer des ressources de gestion pour le développement de relations significative sur le long terme.

Thomas et Griffin, 1996 : La gestion de la chaîne logistique est la gestion des flux de marchandises et d'informations à la fois dans et entre les sites tels que les points de vente, les centres de distribution et les usines de production et d'assemblage.

Tan et al., 1998 : La gestion de la chaîne logistique englobe la gestion des approvisionnements et des marchandises depuis les fournisseurs de matières premières jusqu'au produit fini (et aussi de son éventuel recyclage). La gestion de la chaîne logistique se focalise sur la façon dont les entreprises utilisent les processus, la technologie et l'aptitude à améliorer la compétitivité de leurs fournisseurs. C'est une philosophie de management qui prolonge les activités classiques intra-entreprise, rassemblant l'ensemble des partenaires commerciaux avec un but commun d'optimisation et d'efficacité.

Simchi-Levi et al., 2000 : La gestion d'une chaîne logistique (ou Supply Chain Management) est un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée à la bonne quantité, au bon endroit et au bon moment dans le but de minimiser les coûts et d'assurer le niveau de service requis par le client.

Geunes et Chang, 2001 : La gestion de la chaîne logistique est la coordination et l'intégration des activités de la chaîne logistique avec l'objectif d'atteindre un avantage compétitif viable. La gestion de la chaîne logistique comprend donc un large panel de problématiques stratégiques, financières et opérationnelles.

Rota-Franz et al., 2001 : Faire du "Supply Chain Management" signifie que l'on cherche à intégrer l'ensemble des moyens internes et externes pour répondre à la demande des clients.

L'objectif est d'optimiser de manière simultanée et non plus séquentielle l'ensemble des processus logistiques.

Vakharia (Vakharia, 2002) : Définit la SCM comme étant «l'art et la science de créer et d'accentuer les rapports synergiques entre les partenaires d'une même chaîne logistique ayant comme objectif commun de livrer, juste à temps, les bons produits et les bons services au bon client, avec la meilleure quantité ».

Thierry, 2003 : la gestion de chaînes logistiques définit comme les décisions qui permettent d'optimiser les performances de la chaîne logistique

Simchi-Levi et al 2003 : la gestion de la chaîne logistique est « un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs, et les détaillants de façon à garantir la production et la distribution des produits fini au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité, en respectant les exigences de clients finaux, et ce au moindre coût »

Genini 2003 : la gestion de la chaîne logistique est une approche intégrée de gestion qui consiste à piloter dans leur ensemble les flux des matières et d'informations depuis les fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux, ainsi que les flux retours au moyen d'outils de planification et d'aide à la décision en fond de roulement de l'entreprise ainsi que de satisfaire les clients par la mise à disposition, au meilleur coût, d'une quantité de produits, à l'endroit et au moment où la demande existe.

Dominguez et Lashkari, 2004 : L'intérêt du Supply Chain Management (SCM) est de faciliter les ventes en positionnant correctement les produits en bonne quantité, au bon endroit, et au moment où il y en a besoin et enfin à un coût le plus petit possible. Le principal objectif du SCM est d'allouer efficacement les ressources de production, distribution, transport et d'information, en présence d'objectifs conflictuels, dans le but d'atteindre le niveau de service demandé par les clients au plus bas prix.

Steadtler 2005 : le SCM (Supply Chain Management) est défini comme: « la démarche permettant l'intégration d'unités organisationnelles le long de la chaîne logistique et la coordination des flux physiques, informationnels et financiers dans le but de satisfaire le consommateur final et d'améliorer la compétitivité de la chaîne dans son ensemble »

François 2007: La gestion d'une chaîne logistique est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique entre tous les intervenants de la chaîne logistique (fournisseurs, producteurs, distributeurs), depuis la matière première jusqu'au produit fini, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée en quantité conforme, au bon endroit et au bon moment.

Dans certaines définitions, il est question de chaîne logistique intra ou inter entreprises :

- Une chaîne logistique intra-entreprise est un réseau de sites de production géographiquement dispersés, mais qui appartiennent tous à une même entreprise-mère. Ce type de réseau est souvent appelé « entreprises multi-sites ».

- Au contraire, une chaîne logistique inter-entreprises est un réseau d'entreprises économiquement et juridiquement indépendantes. Dans ce cas, le dilemme entre confidentialité des données et recherche d'une performance globale s'avère être un problème de fond.

Dans toutes les définitions précédentes, la notion de chaîne logistique est bien sûr présente à travers les termes de « réseaux d'entreprises » ou « réseaux d'entités ». L'aspect gestion se fait plutôt ressentir comme une façon d'intégrer et de faire interagir toutes ces entreprises entre elles, qui schématisent la gestion de la chaîne logistique comme des activités transverses (Gestion des demandes, Réalisation des commandes, Gestion du flux des produits,...) et qui interagissent avec toutes les activités propres à chaque entreprise traversée (Production, Achat, Logistique,...). La communication entre les acteurs reste capitale comme le montre le flux d'information qui traverse l'ensemble de la chaîne logistique. [21]

En conclusion la gestion de la chaîne logistique a la définition suivante :

Elle est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique entre tous les intervenants de la chaîne logistique (fournisseurs, producteurs, distributeurs), depuis la matière première jusqu'au produit fini, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée en quantité conforme, au bon endroit et au bon moment.

3.2. Les objectifs de la gestion de la chaîne logistique :

La gestion de la chaîne logistique a pour but d'améliorer la gestion administrative et de réduire ainsi un nombre d'erreurs important. L'entreprise vise différents objectifs lorsqu'elle décide de passer en gestion de la chaîne logistique globale.

La gestion en supply chain permet d'atteindre des objectifs tels que :

- **Le passage du flux poussé au flux tiré :**

Cela permet de réduire les stocks et surtout d'éviter la surproduction. Le produit ne va plus être fabriqué pour ensuite peut-être vendu mais la production va dépendre des commandes clients, cela va limiter les stocks et ainsi être plus proche des besoins des consommateurs.

- **La planification de la production :**

La production est désormais planifiée en totale concordance avec la demande des clients. C'est maintenant le client qui va déclencher la production. En effet, soit la production se fait que lorsque la commande a été passée ce qui peut permettre une personnalisation du produit par le consommateur soit le produit est prêt mais le client va devoir passer commande de manière à déclencher la production du produit pour le consommateur suivant. L'usine dispose alors d'un stock très restreint qui permet de répondre plus rapidement à la demande, ce type de production est utilisé surtout pour les produits qui demandent un délai de fabrication important.

- **L'amélioration de la traçabilité :**

Par la gestion en supply chain l'entreprise dispose d'une meilleure visibilité sur la production grâce à l'étroite collaboration qui s'installe entre les acteurs. De même, il est plus facile de suivre le processus de production et de connaître l'endroit exact où se trouve le bien fabriqué. Un système d'étiquetage s'instaure entre les parties pour avoir les mêmes codes de référencement pour une gestion plus simple des produits.

- **L'amélioration de l'exécution de la commande :**

Le consommateur aura tendance à avoir son produit plus rapidement car selon le délai de fabrication, l'entreprise mettra en place un système qui évitera de faire trop attendre le client. Ce dernier sera alors livré plus rapidement et ainsi il sera généralement plus satisfait.

4. **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les éléments de base de la chaîne logistique et de sa gestion afin de bien assimiler son domaine d'application. Nous avons mis en évidence quelques travaux rencontrés dans la littérature et qui peuvent être considérés comme étant le contexte général de notre travail de recherche.

Les expériences de réussies sont encore assez rares à observer. Mais nombreux sont les groupes d'entreprises qui ont la volonté d'y parvenir. Les années futures nous éclaireront mieux sur les capacités de certaines à réussir leurs transformations profondes.

On peut tout de même observer aujourd'hui que la *supply chain* est plus facile à mettre en œuvre pour les entreprises appartenant à des chaînes logistiques courtes, du type : producteur-distributeur-client.

Le *Supply Chain Management*, pour sa part, vise à piloter ces chaînes en se focalisant particulièrement sur deux axes :

- l'intégration du réseau d'organisation : pilotage des relations entre entités qui composent la chaîne logistique, capacité à faire ensemble.
- la coordination des différents flux : pilotage au niveau de chaque entité de la chaîne logistique, modalité de réalisation effective des objectifs.

1. Introduction :

Dans cette partie de notre travail, nous présentons dans une première étape les travaux de recherches avancés de la planification dans les chaînes logistiques. Ainsi, Pour répondre à la demande des clients souvent, marquée par des variations fluctuantes pendant différentes périodes de cycle de productions, notre objectif d'études sera consacré à faire un rappel aux méthodes de prévision. De même, pour arriver à un objectif qui est de chercher l'équilibre entre la **production** et la **consommation**, nous présentons aussi la méthode de la planification agrégée, l'une des méthodes la plus utilisée dans la recherche opérationnelle, est basée sur la programmation linéaire en nombre entier.

2. La planification de la chaîne logistique :

2.1. Définition :

La planification de la production permet d'une part d'anticiper pour satisfaire la demande, de prévoir les approvisionnements, et de planifier l'utilisation des moyens de production. D'autre part, elle peut aussi être utilisée comme un moyen d'optimiser la production.

La planification de la chaîne logistique consiste à optimiser les activités d'approvisionnement, de production et de distribution des produits, en se basant sur la demande prévisionnelle des clients.

La planification d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions à des niveaux différents. Les différentes décisions de planification de la chaîne logistique sont donc classées selon les fonctions du réseau logistique et selon l'horizon temporel (classification fonctionnelle et décisions temporelles) [12].

2.2. Les objectifs de la planification :

- Equilibrer entre la production et la consommation.
- satisfaire la demande des clients en respectant les délais
- réduire les stocks à tous les niveaux
- minimiser les coûts
- d'utiliser de façon optimale les moyens

2.3. Les niveaux de la planification de la chaîne logistique

Stadler et Kilger, 2005 reprennent la décomposition hiérarchique des problématiques en identifiant les différentes problématiques de la gestion de la chaîne logistique (figure II-1).

Même si le contenu de nos travaux se focalise sur les problèmes de planification tactique, nous présentons par la suite succinctement les niveaux de planification stratégique et opérationnelle.

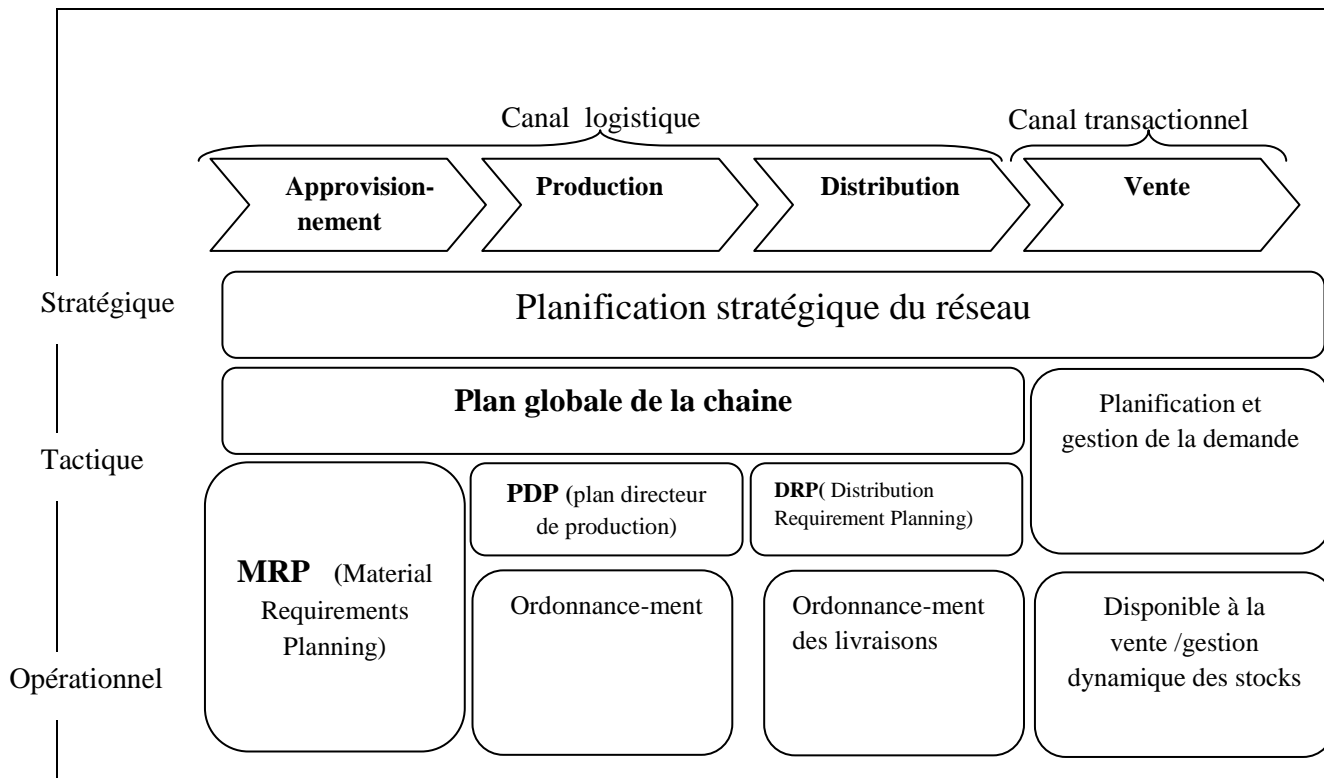


Figure II.1 : les niveaux de la planification des chaînes logistiques [14]

2.3.1. planification stratégique [12]

Stadler et Kilger., 2001 : qualifie trois grandes familles de problèmes de planification:

- la localisation et la capacité des entités physiques dans le réseau.
- la relation entre donneurs d'ordre et fournisseurs et la sélection des partenaires.
- les stratégies de gestion du processus logistique associée à l'infrastructure.

Pirard, 2005: Classiquement, les problèmes stratégiques concernent la création d'un réseau logistique ou la reconfiguration d'un réseau existant

Terzia et Cavalieri, 2004: la localisation et la détermination des capacités des entités physiques de distribution, de production et de stockage.

Goetschalckx et al., 2002: le routage des flux de matières à travers le réseau logistique.

Steger-Jensen et Svensson, 2004: le choix des technologies d'aide à la décision et le système d'information associé.

Selk et al., 2006: le choix des technologies permettant la communication de l'information dans les entités et entre les entités.

Les décisions stratégiques qui sont prises à ce niveau matérialisent la politique à long terme de l'ensemble de la chaîne. Dans ce contexte, **Ganeshan et al,** proposent une classification des décisions stratégiques selon quatre grandes catégories de problématiques qui sont les suivantes:

1. Déterminer les objectifs stratégiques communs pour l'ensemble des partenaires de la chaîne.
2. Définir la structure de la chaîne, essentiellement en termes de typologie et de choix des différents partenaires.
3. Développer la compétitivité de l'ensemble des entreprises partenaires.
4. Faire évoluer les stratégies du management de la chaîne.

Miller, 2001 : présente un exemple des décisions prises à ce niveau comme suit :

- Localisation optimale des nouveaux sites (usines, entrepôts, etc.)
- Positionnement de nouveaux sites ou fermeture de sites
- Détermination de la capacité globale des sites et leurs activités
- Lancement de nouveaux produits
- Caractérisation du réseau de transport et des prestataires de transport.
- Choix des fournisseurs.

Les décisions stratégiques ont une grande influence sur la réussite ou l'échec de la chaîne en termes de compétitivité et de profitabilité sur le marché. Ces décisions stratégiques sont l'objet d'une prise de risque compte tenu du changement rapide et de l'évolution permanente des caractéristiques du marché.

Enfin, la dernière famille de problèmes définis par Stadler au niveau stratégique, consiste en la définition des processus logistiques utilisés pour le fonctionnement de la chaîne logistique .

2.3.2. Planification opérationnelle :

Selon **Génin et al., 2001,0** la planification consiste à piloter l'approvisionnement, la production et la distribution pour atteindre les objectifs fixés au niveau tactique. Il s'agit donc d'un niveau de planification décentralisée qui détermine l'ordre dans lequel chaque activité doit être réalisée dans le cadre de décisions fixées au niveau tactique [9].

La planification opérationnelle est réalisée au moyen de lancements d'ordre de fabrication (produits finis, composants) et de livraison (matières premières, produits finis, etc.).

La littérature concernant la modélisation et la résolution de ces problèmes est également très riche et basée essentiellement sur l'optimisation de modèles de référence dont les plus connus sont pour la partie ordonnancement le **Flowshop**, le **Jobshop**, le **RCPS** (Resource Constrained Project Scheduling Problem) et le **HSP** (Hoist Scheduling Problem). Le lecteur peut se référer aux travaux de (Grangeon, 2001), (Manier, 2003) et (Kemmoé, 2007).

Une autre partie de la littérature se focalise sur des problèmes de transport. Les modèles les plus connus sont les suivants : **TSP** (Traveling Salesman Problem), **VRP** (Vehicule Routing Problem), **CARP** (Capacitated Arc Routing Problem) et **PDP** (Pickup and Delivery Problem). Les lecteurs peuvent se référer aux travaux de (Laporte, 1992 (a) et (b)) [12].

2.3.3. Planification tactique :

Dans notre cas d'étude on va s'intéresser à la planification tactique de la chaîne logistique qui vise à calculer *un plan de production* et dont l'horizon de temps peut varier de six à dix-huit mois. Dans ce plan, les quantités à produire par période (une période de planification varie principalement entre une semaine et un mois) sont calculées de façon à répondre aux demandes au moindre coût. Ces décisions s'inscrivent dans un cadre logique dessiné par les décisions stratégiques.

3. Planification de la production :

La planification de la production est une décision tactique qui constitue un lien entre les décisions stratégiques du long terme et les décisions opérationnelles du court terme. Les questions qui se posent à ce niveau portent sur l'utilisation optimale des moyens de production dans le but de satisfaire les demandes aux moindres coûts. La planification part des informations suivantes :

- Les demandes (connues ou estimées).
- La capacité de production (par unité de temps, atelier ou machine).
- Le volume de main d'œuvre et qualifications disponibles.
- Les informations sur le produit (nomenclature, spécifications techniques de production, délai d'obtention ...).
- Les différents coûts (production, lancement, non satisfaction des demandes, stockage, rupture de stocks ...).

3.1. Hiérarchie de la planification

- La planification de la production est un ensemble de tâches qui s'effectuent en séquence, avec différents degrés de précision. La complexité de ces tâches, l'incertitude des données sur un horizon de planification de plusieurs mois et le nombre de variables impliquées nous obligent à procéder par étapes [4].

Ces étapes sont présentées dans le diagramme ci-bas.

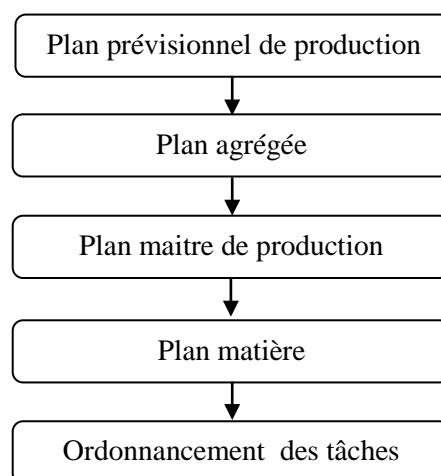


Figure II.2 : Hiérarchie de la planification [4]

3.1.1. Le plan prévisionnel de la demande :

Ce plan permet d'estimer la quantité de produits que les clients vont demander à chacune des périodes. Plus on s'éloigne dans le temps, plus les prévisions de ventes prennent une part importante du plan prévisionnel.

Les prévisions sont donc un élément vital à la bonne coordination des activités des différents départements d'une compagnie. Il est important que ces derniers fassent leur planification en se basant sur les mêmes suppositions en ce qui concerne l'avenir [17].

Pour la plupart des entreprises, l'établissement de prévisions est préalable pour une gestion efficace des stocks. Comme l'explique (Lai et al.2006), « les prévisions sont la base de tous les systèmes de gestion de production. » Toute la supply chain s'articule à partir des données issues des modèles de prévisions. Le choix d'une méthode de prévision peut donc influencer le choix d'une politique de gestion de stock et l'estimation de ses paramètres. Mais le niveau et la fiabilité des stocks vont également influencer d'autres secteurs clés de l'industrie tels que les décisions d'investissements, l'achat d'équipements, la gestion des capacités ou encore la gestion financière de l'entreprise.

Dans (Fleishmann et al ,2002), les auteurs montrent l'utilité de la prévision et de la réalisation d'un planning comme un outil d'aide à la décision permettant d'organiser la Supply Chain sur tous les horizons de temps à tous les niveaux.

La réalisation de prévision est primordiale pour la compétitivité des entreprises. Les questions à se poser afin de répondre à cette problématique et ainsi pouvoir bien comprendre le processus de réalisation et d'utilisation de ces prévisions sont les suivantes : Quelle Demande prévoir ? Qui s'en occupe ? Quel est l'horizon de prévision ? Quelles sont les techniques de prévisions ?

Dans le domaine académique, la prévision occupe une place importante. Etant donné le rôle primordial de la prévision, on comprend pourquoi de nombreux modèles sont élaborés depuis le début de 20^{ème} siècle. Les recherches se sont principalement développées à partir des années 50 avec des modèles mathématiques. Une revue de la littérature a été effectuée par (Stadtler 2005). On y retrouve l'intérêt de la prévision pour la Supply Chain globale dans le but d'intégrer différentes organisations et de coordonner leurs flux afin de satisfaire le consommateur final.

3.1.1.1.La réalisation des prévisions :

Le processus de réalisation est complexe. la présentation de ce processus complet incluant notamment la récupération des informations, point prépondérant pour permettre une bonne mise en place de la prévision (Lee et al.1997),(Chen et al.2007).

Une fois les données sont récupérées, elles sont analysées et transformées afin de pouvoir être traitées par des modèles de prévision. Cette transformation permet par exemple d'enlever la saisonnalité ou la tendance pour ne travailler que sur une partie de la série temporelle. Une des méthodes de transformation les plus répandues est celle élaborée par (Box et al.1976).

Cette transformation dans certains cas joue un rôle prépondérant dans le résultat final de la prévision comme l'explique (Fukuda 2006).

3.1.1.2. Les méthodes de prévisions :

Les méthodes de prévisions scindent en deux parties. D'un coté les méthodes qualitatives regroupant les méthodes s'appuyant sur l'avis d'experts, les enquêtes consommateurs ou les données non quantifiables. De l'autre coté, se trouvent les méthodes quantitatives s'appuyant sur l'étude des données statistiques comme les historiques de demandes ou les corrélations entre les demandes à prévoir et des indicateurs externes (production industrielle, évolution PIB,...).

Dans la figure suivante nous retrouvons les principales méthodes que nous détaillerons par la suite

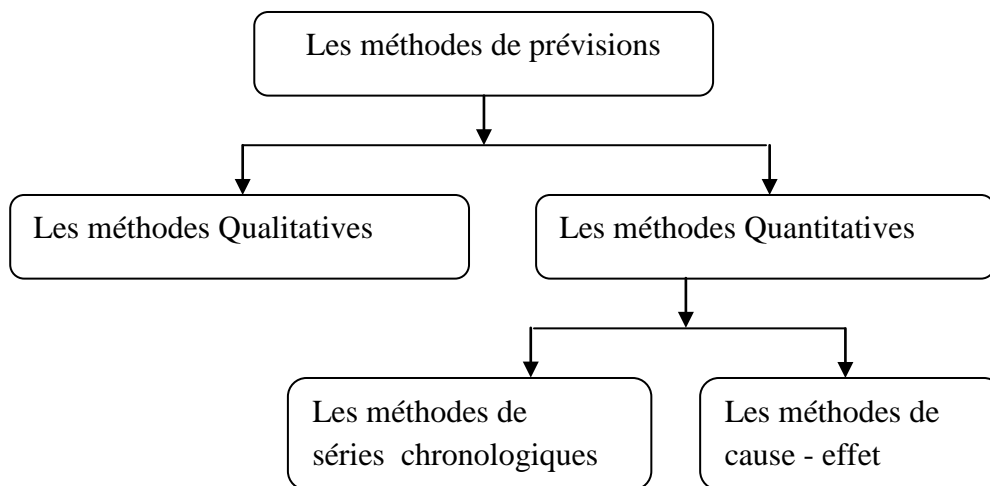


Figure II.3 : les méthodes de prévision

Une revue des principales méthodes de prévisions (extrapolation, méthodes statistiques, méthodes quantitatives etc.) avec une classification par objectifs et par type d'approche a été réalisée (Fildes et al.2008) [20].

3.1.1.2.1. Les méthodes qualitatives : [17]

- **Utilisation du jugement humain**

Les approches les plus simples, qui sont parfois les plus rapides, ne nécessitent que l'opinion subjective de personnes, sans qu'il soit nécessaire d'exprimer la prévision à l'aide d'équations mathématiques. Plusieurs méthodes de ce type existent et nous présentons ici les quatre principales. Ces méthodes peuvent également servir à compléter les prévisions faites à partir de méthodes quantitatives.

- **Entrevue d'experts**

Lorsqu'il n'y a pas de données historiques, l'opinion d'experts peut être la seule source d'informations pour préparer les prévisions. Les gestionnaires ou experts des départements de ventes, de l'administration, de la production et des achats sont alors appelés à donner leur estimé des ventes futures.

La mise en commun des différentes prévisions peut être faite de plusieurs manières. Une première méthode consiste à mener des entretiens individuelles et à combiner les résultats. Une

seconde méthode consiste à réunir les experts dans une salle et leur demander d'en arriver à un consensus.

Cette méthode a l'avantage de donner une prévision dans un laps de temps relativement court et amène une variété de points de vue. Il est cependant plus difficile de séparer la prévision par territoires et produits spécifiques.

- **Opinion des vendeurs**

Les vendeurs sont en contact direct avec les clients et sont donc bien positionnés pour voir les changements dans la demande des clients. Pour développer la prévision, chaque vendeur détermine combien il estime vendre de chaque produit dans l'année à venir. Le directeur des ventes est alors responsable de l'agrégation des données de ses vendeurs pour en arriver à une prévision globale par région géographique ou par groupe de produits.

Les prévisions faites par les vendeurs peuvent ne pas être justes lorsque des bonus sont payés aux vendeurs qui dépassent leur objectif de ventes. Dans ces conditions, il est clairement avantageux pour les vendeurs de baisser leurs estimés.

- **Enquêtes auprès des clients**

Certaines compagnies font leur propre enquêtes de marché pour une clientèle cible. Des vendeurs peuvent demander à leurs clients ou à des clients potentiels leur plan d'achat pour le futur. Des questionnaires envoyés par la poste ou administrés par téléphone peuvent également être utilisés pour obtenir l'opinion des consommateurs. Pour être efficaces, les plans d'échantillonnage doivent être bien conçus afin de garantir que les résultats sont statistiquement fiables et représentatifs de la clientèle cible.

Cette méthode offre l'avantage de donner à l'entreprise l'opportunité de connaître un peu mieux la pensée derrière les intentions du client. On peut également en apprendre plus sur les avantages et les inconvénients du produit aux yeux du client.

Un des inconvénients de la méthode est qu'elle demande beaucoup de temps et d'efforts.

- **Enquêtes Delphi**

La méthode Delphi est une technique de groupe dans laquelle des experts sont questionnés individuellement sur leur perception de la tendance future. Les individus ne se rencontrent pas en groupe pour réduire le risque qu'un consensus soit atteint à cause de personnalités dominantes ou de supériorités hiérarchiques. Les prévisions et les justifications qui les accompagnent sont résumées par la personne s'occupant de l'enquête puis retournées aux experts avec d'autres questions. Ce processus continue jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint par le groupe.

3.1.1.2.2. **Les méthodes quantitatives :[20]**

Les méthodes quantitatives jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité des prévisions (**Lawrence et al.2006**).

Les méthodes quantitatives sont basées sur les données historiques ou sur des associations entre des variables de l'environnement comme par exemple les ventes mensuelles

réalisées au cours des dernières années, les indices boursiers et économiques et les achats de produits complémentaires.

Deux grandes familles de méthodes quantitatives existent : les méthodes de séries chronologiques (suites d'observations dans le temps prises à intervalles réguliers) qui permettent de prévoir la demande en fonction des données historiques, et les méthodes causales (prévisions associatives) qui permettent d'établir des relations de cause effet entre certaines variables de l'environnement et la demande.

L'avantage des méthodes quantitatives est la rapidité de traitements une fois le modèle développé. Malheureusement le recueil des données peut parfois impliquer des investissements conséquents. Dans certains cas, ces données sont déjà présentes dans les systèmes d'information de l'entreprise (ex : ventes des mois passés) ou facilement accessibles (ex : indices économiques) et peuvent alors être plus facilement utilisées.

3.1.1.2.2.1. Les méthodes de série chronologiques :

Définition

Une série chronologique est une séquence de données récoltées à intervalle de temps régulier et présentées dans leur ordre chronologique. Une séquence de données sur les ventes journalières, hebdomadaires ou mensuelles est un exemple de série chronologique [5].

Voici les trois composantes généralement reconnues pour les séries chronologiques :

♣ Tendence :

La tendance est le mouvement général vers le haut ou vers le bas du niveau moyen de la demande dans le temps. Un historique de données couvrant plusieurs années est souvent nécessaire afin de déterminer les tendances. Les tendances peuvent être linéaires ou non linéaires.

♣ Saisonnalité :

La composante saisonnière est une fluctuation de la demande au-dessus et au-dessous de la tendance et qui se répète à intervalles réguliers. La demande pour plusieurs produits ou services varie selon la température (chaude en été et froide en hiver) et se répète à chaque année.

♣ Cycle :

Les cycles sont similaires aux composantes saisonnières, à l'exception que l'amplitude et la longueur des cycles (plus d'un an) peuvent varier dans le temps.

3.1.1.2.2.1.1. Les méthodes de lissage exponentiel :

A. Lissage exponentiel simple:[17]

Le lissage exponentiel est une autre forme de moyenne mobile pondérée. À chaque période, cette méthode ajuste la demande moyenne en proportion de la différence entre la dernière demande réelle et la prévision correspondante:

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

P_{t+1} : prévision de la demande pour la période t+1

D_t : Demande réelle à la période t

P_t : prévision de la demande pour la période t

α : Constante de lissage ($0 \leq \alpha \leq 1$)

Si α est grand, plus de poids est mis sur la plus récente donnée et moins de poids sur les données passées, ce qui résulte en une prévision qui réagit rapidement aux changements. Si α est petit, alors plus de poids est mis sur les données passées et la prévision est plus stable.

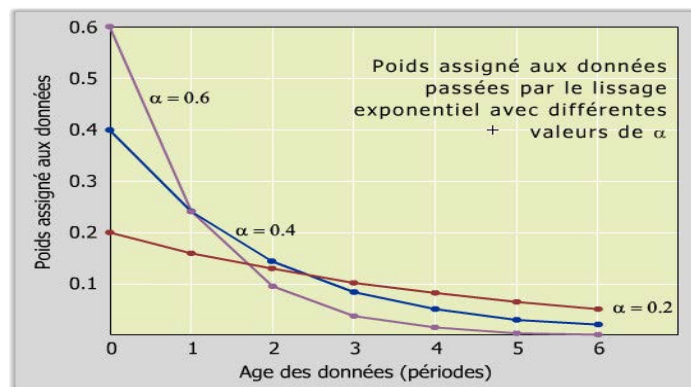


Figure II.4: Graphique du poids assigné aux données [17]

- **Le paramètre α :**

Constante de lissage α est une valeur décimale comprise entre 0 et 1. Souvent, elle est choisie de manière à ce que les prévisions produites soient plus près des données réelles que toute prévision faite avec d'autres valeurs de α .

- **Détermination de la première prévision :**

Puisque à chaque période, on calcule la prévision à partir de la prévision précédente, on peut se demander comment calculer la première prévision.

B. Lissage exponentiel double (Holt) :[17]

Il existe plusieurs modèles utilisant le lissage exponentiel double pour les prévisions. Le modèle que nous présentons ici s'applique aux séries avec tendance linéaire.

Il comporte deux constantes de lissage prenant chacune des valeurs entre 0 et 1:

- α est utilisé pour lisser les variations aléatoires dans la demande
- β est utilisé pour lisser les variations dans l'estimé de la pente

Trois équations sont nécessaires au calcul de la prévision :

S_t est une estime du niveau de la demande au temps t. Cette équation est très similaire à celle utilisée dans le lissage exponentiel simple. Lorsqu'une observation de la demande à la période (D_t) devient disponible, elle est utilisée dans le calcul de la moyenne avec l'estime précédent (S_{t-1}) ajusté de la pente (G_{t-1}).

G_t est l'estime de la pente au temps t . Chaque nouvel estime de S_t nous permet de réviser l'estime de la pente ($S_t - S_{t-1}$). Les variations dans les estimes de la pente sont lissées en faisant une moyenne avec l'estime précédent de la pente, G_{t-1} .

P_{t-1} est la prévision faite au temps t (généralement la plus récente période pour laquelle des données sont disponibles) pour la demande qui devrait survenir dans m périodes. $m=1$ dénote la prochaine période dans l'horizon.

$$S_t = \alpha D_t + (1-\alpha) (S_{t-1} + G_{t-1})$$

$$G_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1-\beta) G_{t-1}$$

$$P_{t+m} = S_t + (m * G_t)$$

S_t : estime du niveau de la série à la période t

D_t : demande réelle au temps t

G_t : estime de la pente à la période t

P_{t+m} : prévision de la demande pour la période $t+m$

- **Calcul des prévisions subséquentes :**

Le modèle permet de faire des prévisions pour plusieurs périodes à venir. Ces prévisions pourront être ajustées à chaque période après que les données sur la demande réelle aient été obtenues.

C. Lissage exponentiel triple (Winters) : [17]

Winters s'est basé sur la méthode de Holt pour définir un modèle qui prend en considération la composante saisonnière. L'application de la méthode est donc très similaire à celle faite par Holt.

La méthode de Winters utilise trois équations de lissage: une pour le niveau de la demande, une pour la tendance et une pour la saisonnalité.

Le modèle de Winters a l'avantage d'être facile à mettre à jour au fur et à mesure que de nouvelles données deviennent disponibles.

Le modèle winters :

Équation 1: Niveau de la série (level)

$$L_{t+1} = \alpha (D_{t+1} / C_{t+1}) + (1-\alpha) (L_t + b_t)$$

L_{t+1} : le niveau de la série à la période $t+1$

α : le paramètre de lissage de niveau ($0 \leq \alpha \leq 1$)

D_{t+1} : la demande de la période t

C_{t+1} : la saisonnalité à la période $t+1$

L_t : le niveau de la série à la période t

b_{t-1} : la tendance à la période t

Équation 2: Tendance (trend)

$$b_t = \beta * (L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)(b_t)$$

b_t : la tendance à la période t

β : le paramètre de lissage de la tendance ($0 \leq \beta \leq 1$)

L_{t+1} : le niveau de la série à la période t+1

L_t : le niveau de la série à la période t

b_t : la tendance à la période t

Équation 3 : Facteurs saisonniers (seasonality)

$$C_{t+p+1} = \gamma (D_{t+1} / L_{t+1}) + (1 - \gamma) C_{t+1}$$

C_{t+p+1} : la saisonnalité à la période t+p+1

p: le nombre de périodes entrant dans le cycle qui se répète dans ce cas p=12

γ : le paramètre de lissage de la saisonnalité ($0 \leq \gamma \leq 1$)

D_{t+1} : la demande à la période t+1

L_{t+1} : le niveau de la série à la période t+1

C_{t+1} : la saisonnalité à la période t+1

Équation 4 : Prévision pour la période t + 1

$$P_{t+1} = (L_t + b_t)C_{t+1}$$

P_{t+1} : est la prévision faite à la période t pour la période t+1.

L_t = le niveau de la série à la période t

C_{t+1} : la saisonnalité à la période t+1

3.1.2. L'étape de planification agrégée

La planification agrégée évalue les ressources physiques, humaines et monétaires qui seront nécessaires pour répondre à la demande prévue. Plusieurs solutions potentielles sont produites et évaluées selon leur robustesse à rencontrer les critères de coûts, de quantités et de délais.

3.1.2.1. Définition :

Il existe plusieurs définitions de la planification agrégée, on a cité quelques définitions :

Définition selon Nam et Logendram 1992: « La planification agrégée de la production a pour but de faire la meilleure utilisation possible des ressources humaines et physiques d'une entreprise pour rencontrer la demande anticipée des clients. Le plan de production agrégé établira simultanément les niveaux optimaux de production, d'inventaire et d'employés sur un horizon temporel de planification donné, de manière à rencontrer la demande de tous les produits qui se partagent ces mêmes ressources limitées » [4].

Schroeder, 1992: « Tout d'abord, il y a les variables qui vous permettent de modifier la capacité de production grâce à la programmation : les heures supplémentaires, l'embauche de travailleurs temporaires, la sous-traitance d'autre par il existe d'autres variables de la demande peut influencer sur le comportement du marché par la publicité, la gestion des prix, promotions, etc. » [6]

Tadei et al. (1995) : « On peut trouver l'application de la planification agrégée et l'ordonnancement dans l'industrie des produits agroalimentaire » .

Grossman, 2002; Savage, 1997: « En particulier, un moyen de faciliter la mise en œuvre des modèles de recherche opérationnelle est par l'utilisation d'une feuille de calcul, la plateforme habituelle des gestionnaires des opérations ».

Bradley et Arntzen (1999) : disent que l'entreprise devrait inclure dans les modèles agrégées certaines décisions de capacité, étant donné que les investissements dans l'inventaire et des équipements sont équivalents dans de nombreux cas.

Robinson et Dilts, 1999: Tandis que les modèles de planification agrégées exigent une grande quantité de données, il doit être intégré dans le système d'information de l'entreprise pour fonctionner correctement. Les professionnels de la recherche opérationnelle devraient être conscients du potentiel et des défis causé par la diffusion du système de planification des ressources de l'entreprise à la fin des années nonante.

Piper et Vachon (2001) : indiquent que la littérature de planification agrégée ne tient pas compte correctement pour les pertes de productivité engagés par les licenciements et l'embauche des employés.

Buxey (2003) : montre que la majorité des entreprises ont tendance à adopter une (chase strategy), en évitant les stocks saisonniers élevés.

Buxey, 2005: Les modèles de la planification agrégée sont suffisamment flexibles pour aider les entreprises à prendre des décisions représentatives, mais ils ne sont pas très répandus dans les pratiques réelles.

Silva et al. (2006): présentent un système d'aide à la décision interactive pour la planification de la production qui utilise un modèle de programmation linéaire mixte en nombres entiers avec une interface de tableur.

Origine du mot agrégé : Le terme **agrégé** vient du latin « aggregare » qui signifie unir en un tout. Dans les faits, on ne cherche pas, lors de la planification agrégée, à différencier chacun des éléments mais plutôt à les regrouper en des ensembles cohérents permettant d'évaluer l'ampleur des ressources requises.

L'agrégation des décisions permet de simplifier considérablement la formulation et la résolution des problèmes. Le plan de production ainsi obtenu est appelé plan agrégé. Cependant, ce plan doit être calculé de manière à être réalisable. Par exemple : les produits sont agrégés par familles, les ressources en grandes catégories

3.1.2.2.L'agrégation est effectuée en :[4]

- Consolidant les produits similaires en groupes ou familles :
 - Demande similaire, coûts similaires et temps de production similaire
- En regroupant les machines en centre de production
- En regroupant les différentes compétences en groupes ou centre de compétences
- En consolidant les clients individuels par ville ou région
- L'agrégation force la définition d'une unité de mesure équivalente
- Exemple heures de production

3.1.2.3.Les informations requises pour la planification agrégée :

- Prévision de la demande de chaque période
- Main-d'œuvre
- Temps régulier (heure).
- Temps supplémentaire (Da/hr)
- Temps de production par unité
- Contrainte:
 - Capacité, temps supplémentaire, embauche, budget, rupture de stock et arriéré.

3.1.2.4.Les coûts à considérer :[4]

L'ensemble de coûts à considérer sont :

- Coût de production en temps régulier
- Coût de production en temps supplémentaire
- Prime à la production de soir et de nuit
- Coût d'embauche et de mise à pied du personnel
- Coût de rupture de stock
- Coût de sous-traitance
- Coût pour l'ajustement de la capacité.
- Coût pour l'augmentation de la capacité machine (Da/machine)
- Coût d'inventaire (Da/unit/période).
- Coût associé une commande en arriéré (Da/unit/période)

Dans les différents secteurs industriels, tous ces coûts n'ont pas la même importance ou la même influence dans la production d'un plan agrégé.

♣ Coût en temps régulier :

Un plan de production agrégé permet de déterminer l'organisation des ressources manufacturières qui permettra de respecter les délais et les quantités, au moindre coût. Le moindre coût est habituellement la production en temps régulier, sans inventaire, sans embauche, sans prime de nuit, etc. Lorsqu'il est possible de produire toute la demande en temps régulier, le plan de production est simple à réaliser. Le défi réside plutôt dans la minimisation de l'ensemble des autres coûts.

Clicours.COM

♣ **Les coûts de productions** comprennent, entre autres:

- Matières premières
- Main-d'œuvre
- Utilisation des équipements
- Amortissement
- Énergie
- Entretien
- Frais généraux : assurances, taxes,.

♣ **Coût en temps supplémentaire :**

Le temps supplémentaire est l'une des méthodes les plus simples pour accroître sa capacité de production. Si les équipements sont disponibles, la main-d'œuvre est déjà formée, les employés connaissent leur travail et sont autonomes. Si le coût de la main-d'œuvre n'est pas un des éléments majeurs du coût d'un produit, c'est une solution intéressante.

Cependant, dans la plupart des pays industrialisés, la semaine de travail est normalisée. Par exemple au Québec, la loi sur les normes du travail prévoit qu'une semaine normale de travail est de 40 heures et que l'employeur, au-delà de cette limite, doit majorer de 50% le salaire horaire de l'employé. (Commission des Normes du Travail du Québec).

♣ **Coût d'embauche et de mise à pied :**

Lorsque les ressources de production sont fortement liées à la main-d'œuvre et que le personnel n'est pas spécialisé, certaines d'entreprises utilisent la variation du niveau de main-d'œuvre pour ajuster leur capacité.

3.1.2.5. Politiques générales de planification [4]

Pour établir un plan agrégé de production, on présente habituellement ces politiques générales. Bien que peu d'industries utilisent directement ces politiques, elles démontrent les principes liées à la planification agrégée.

♣ **Varier la capacité tout en gardant la main d'œuvre fixe :**

- ✳ Cette politique est utilisée lorsqu'il y a un excédent de capacité machine.
- ✳ Le nombre de main d'œuvre est stable mais la quantité d'heures travaillée est variable afin de synchroniser la production avec la demande
- ✳ On peut utiliser le temps supplémentaire ou des horaires flexibles.
- ✳ Nécessite une main d'œuvre flexible mais évite les problèmes de morale
- ✳ Niveau d'inventaire et d'utilisation bas.

♣ **Varier l'Inventaire :**

- ✳ Maintenir une capacité machine et main d'œuvre stable avec un niveau de production plus ou moins stable.
- ✳ L'inventaire varie en fonction de la demande:

- Périodes de rupture de stock ainsi que des périodes avec beaucoup d'inventaire (sur stock)
- * On utilise les périodes de basses demandes pour produire pour les périodes de pointe
- * Meilleur pour le moral.
- * Beaucoup d'inventaire et donc des coûts associés à l'inventaire

♣ **Production synchronisée avec la demande :**

- * La production est synchronisée avec la demande en variant:
 - La capacité des machines.
 - Le niveau de la main d'œuvre.

En pratique: c'est difficile de varier la main d'œuvre ou la capacité des machines dans un horizon très court parce qu'il est :

- Coûteux
- Effet négatif sur le morale
- * Niveau d'inventaire très bas
 - À utiliser quand les coûts d'inventaire sont très haut ou dans le cas des produits périssables.

3.1.2.6. Outils de calcul et d'optimisation :

L'approche par programmation linéaire est très efficace en ce sens. Elle permet de déterminer la solution qui minimisera les coûts et de positionner des solutions plus acceptables en termes de stock ou de mises à pied.

3.1.2.6.1. Caractéristiques des modèles et performances

Les modèles linéaires sont des modèles qui se solutionnent très rapidement, même pour des problèmes comportant des milliers de variables.

Les modèles linéaires s'adaptent bien à la planification agrégée qui ne nécessite pas une solution très précise.

3.1.2.6.2. Classification des modèles mathématiques :

♣ **Modèle1 : modèle multi produit, multi période avec MO fixe :**

Ce modèle est pour objectif de minimiser la somme des coûts liées à la production, le stock, et la main d'œuvre dans une chaîne de production de plusieurs produit dans des différentes périodes tout en gardant le nombre d'ouvriers fixe dans chaque période de l'horizon de planification choisi sous des contraintes de la satisfaction de la demande avec un certain niveau de stock, la capacité de la main d'œuvre en nombre d'heure régulier et en nombre d'heure supplémentaire.

Les paramètres :

v_{it} = coût de production unitaire i à la période t (ce coût exclut les coûts de MO)

c_{it} = coût d'inventaire pour garder une unité du produit i de t à $t+1$

r_t = coût par heure-homme en temps régulier à la période t

o_t = coût par heure-homme en temps supplémentaire à la période t

d_{it} = prévision pour le produit i à la période t

k_i = nombre d'heure-homme requis pour produire une unité du produit i

$(rm)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps régulier à la période t

$(om)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps supplémentaire à la période t

I_{i0} = inventaire initiale pour le produit i

w_0 = niveau de MO initiale en temps régulier (en heure-homme)

T = nombre de périodes dans l'horizon de planification

N = nombre de produits

Les variables de décision :

X_{it} = nombre d'unité du produit i à produire à la période t

I_{it} = nombre d'unité du produit i en inventaire à la fin de la période t

W_t = nombre d'heure-homme en temps régulier utilisé à la période t

O_t = nombre d'heure-homme en temps supplémentaire utilisé à la période t

La fonction objectif :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (v_{it} X_{it} - c_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t W_t + o_t O_t) \quad (1)$$

Les contraintes :

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N k_i X_{it} - W_t - O_t \leq 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$0 \leq W_t \leq (rm)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$0 \leq O_t \leq (om)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N$$

♣ **Modèle 2 : modèle de lots avec coût de changement et capacité de MO fixe :**

Le deuxième modèle est pour objectif de minimiser la somme des coûts (de changement de type de produit, de la production, du stock, et de la main d'œuvre) dans une chaîne de production par lot dans des différentes périodes avec un nombre d'ouvriers fixe dans chaque période de l'horizon de planification choisi sous des contraintes.

Les paramètres :

v_{it} = coût de production unitaire i à la période t (ce coût exclut les coûts de MO)

c_{it} = coût d'inventaire pour garder une unité du produit i de t à $t+1$

r_t = coût par heure-homme en temps régulier à la période t

o_t = coût par heure-homme en temps supplémentaire à la période t

d_{it} = prévision pour le produit i à la période t

k_i = nombre d'heure-homme requis pour produire une unité du produit i

$(rm)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps régulier à la période t

$(om)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps supplémentaire à la période t

I_{i0} = inventaire initiale pour le produit i

w_0 = niveau de MO initiale en temps régulier (en heure-homme)

T = nombre de périodes dans l'horizon de planification

N = nombre de produits

S_{it} = coût de changement pour passer à la production du produit i à la période t

a_i = temps de changement nécessaire pour passer à la production du produit i

M = un grand nombre

Les variables de décision :

X_{it} = nombre d'unité du produit i à produire à la période t

y_{it} = variable de décision binaire relative à la possibilité d'arrangement du système de production pour passer à la fabrication de l'article i

I_{it} = nombre d'unité du produit i en inventaire à la fin de la période t

W_t = nombre d'heure-homme en temps régulier utilisé à la période t

O_t = nombre d'heure-homme en temps supplémentaire utilisé à la période t

La fonction objectif :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (s_{it} y_{it} + v_{it} X_{it} + c_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t W_t + o_t O_t) \quad (1)$$

Les contraintes :

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N (a_i y_{it} + k_i X_{it}) - W_t - O_t = 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$0 \leq W_t \leq (rm)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$0 \leq O_t \leq (om)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$X_{it} \leq M y_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$y_{it} \in (0,1) \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

♣ **Modèle 3 : modèle de lots avec capacité MO variable d'une période à l'autre :**

Le modèle suivant minimise la somme des coûts liées à la production, le stock, et la main d'œuvre dans une chaîne de production de plusieurs produit dans des différentes périodes tout en gardant le nombre d'ouvriers fixe dans chaque période de l'horizon de planification choisi sous des contraintes de la satisfaction de la demande avec un certain niveau de stock, la capacité de la main d'œuvre en nombre d'heure régulier et en nombre d'heure supplémentaire.

Les paramètres :

v_{it} = coût de production unitaire i à la période t (ce coût exclut les coûts de MO)

c_{it} = coût d'inventaire pour garder une unité du produit i de t à $t+1$

r_t = coût par heure-homme en temps régulier à la période t

o_t = coût par heure-homme en temps supplémentaire à la période t

d_{it} = prévision pour le produit i à la période t

k_i = nombre d'heure-homme requis pour produire une unité du produit i

$(rm)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps régulier à la période t

$(om)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps supplémentaire à la période t

I_{i0} = inventaire initiale pour le produit i

w_0 = niveau de MO initiale en temps régulier (en heure-homme)

T= nombre de périodes dans l'horizon de planification

N=nombre de produits

S_{it} = coût de changement pour passer à la production du produit i à la période t

a_i = temps de changement nécessaire pour passer à la production du produit i

M = un grand nombre

Comme la main d'œuvre peut varier d'une période à une autre soient :

h_t = le coût d'embauche d'un ouvrier à la période t

f_t = le coût de mise à pied d'un ouvrier à la période t

Les variables de décision :

X_{it} = nombre d'unité du produit i à produire à la période t

I_{it} = nombre d'unité du produit i en inventaire à la fin de la période t

W_t = nombre d'heure-homme en temps régulier utilisé à la période t

O_t = nombre d'heure-homme en temps supplémentaire utilisé à la période t

y_{it} = variable de décision binaire relative à la possibilité d'arrangement du système de production pour passer à la fabrication de l'article i

Comme la main d'œuvre peut varier d'une période à une autre soient :

H_t = le nombre d'ouvriers opérationnels à la période t

F_t = le nombre d'ouvriers licenciés à la période t

La Fonction Objectif :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (s_{it} y_{it} + v_{it} X_{it} + c_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t W_t + o_t O_t + h_t H_t + f_t F_t) \quad (1)$$

Les contraintes :

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N (a_i y_{it} + k_i X_{it}) - W_t - O_t = 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$W_t + W_{t-1} + H_t - F_t = 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$-p W_t + O_t \leq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$X_{it} \leq M y_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$W_t, O_t, H_t, F_t \geq 0 \quad t = 1, \dots, T \quad (8)$$

$$y_{it} \in (0,1) \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

3.1.3. Le plan maître de production

Est établi à partir du plan agrégé. Il découpe en produits différents les items regroupés de l'étape précédente. On y retrouve donc, pour chacune des périodes futures considérées dans l'horizon de planification, les quantités de chacun des différents produits que l'on devra fabriquer. Le plan de production tient en compte les produits déjà en inventaire; les quantités à produire sont donc réduites conséquemment.

Connaissant les produits à mettre en fabrication, il est maintenant possible d'établir la liste des composantes requises pour les réaliser.

3.1.4. Plan matière :

Dans cette étape, À partir de la structure des produits à réaliser, on peut connaître les sous-assemblages, les composantes et la matière première nécessaires à la confection des produits. En tenant compte des items en inventaire, du nombre de composantes par produit, des délais de commande et de livraison, on peut lancer les commandes chez les fournisseurs. Les commandes sont émises de manière à s'assurer que les items seront disponibles au moment où ils seront requis tout en minimisant les coûts de maintien en stock.

3.1.5. L'ordonnancement de la production :

Cette étape consiste à planifier dans le détail chacune des tâches à effectuer. Ainsi, on connaît maintenant quels sont les produits devant être livrés à chacune des périodes et l'ensemble des composantes pour les réaliser ont été commandées. Il faut planifier chacune des étapes de fabrication et d'assemblage pour arriver à leur confection. Il s'agit donc de préciser le moment où chacune de ces tâches sera réalisée, le poste de travail, l'équipement, l'outillage et les ressources humaines qui y seront affectés.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les principaux outils scientifiques utilisés dans la planification de la production. Précisément nous avons détaillé les méthodes de prévision des demandes ainsi que les modèles de la planification agrégés. En se basant sur ces deux concepts, nous contribuons dans la suite à l'application de ces deux outils sur une chaîne logistique agroalimentaire des boissons à savoir l'entreprise l'EXQUISE.

1. Introduction :

Dans cette partie de notre travail, nous présentons dans une première étape les travaux de recherches avancés de la planification dans les chaînes logistiques. Ainsi, Pour répondre à la demande des clients souvent, marquée par des variations fluctuantes pendant différentes périodes de cycle de productions, notre objectif d'études sera consacré à faire un rappel aux méthodes de prévision. De même, pour arriver à un objectif qui est de chercher l'équilibre entre la **production** et la **consommation**, nous présentons aussi la méthode de la planification agrégée, l'une des méthodes la plus utilisée dans la recherche opérationnelle, est basée sur la programmation linéaire en nombre entier.

2. La planification de la chaîne logistique :

2.1. Définition :

La planification de la production permet d'une part d'anticiper pour satisfaire la demande, de prévoir les approvisionnements, et de planifier l'utilisation des moyens de production. D'autre part, elle peut aussi être utilisée comme un moyen d'optimiser la production.

La planification de la chaîne logistique consiste à optimiser les activités d'approvisionnement, de production et de distribution des produits, en se basant sur la demande prévisionnelle des clients.

La planification d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions à des niveaux différents. Les différentes décisions de planification de la chaîne logistique sont donc classées selon les fonctions du réseau logistique et selon l'horizon temporel (classification fonctionnelle et décisions temporelles) [6].

2.2. Les objectifs de la planification :

- Equilibrer entre la production et la consommation.
- satisfaire la demande des clients en respectant les délais
- réduire les stocks à tous les niveaux
- minimiser les coûts
- d'utiliser de façon optimale les moyens

2.3. Les niveaux de la planification de la chaîne logistique

Stadler et Kilger, 2005 reprennent la décomposition hiérarchique des problématiques en identifiant les différentes problématiques de la gestion de la chaîne logistique (figure II-1).

Même si le contenu de nos travaux se focalise sur les problèmes de planification tactique, nous présentons par la suite succinctement les niveaux de planification stratégique et opérationnelle.

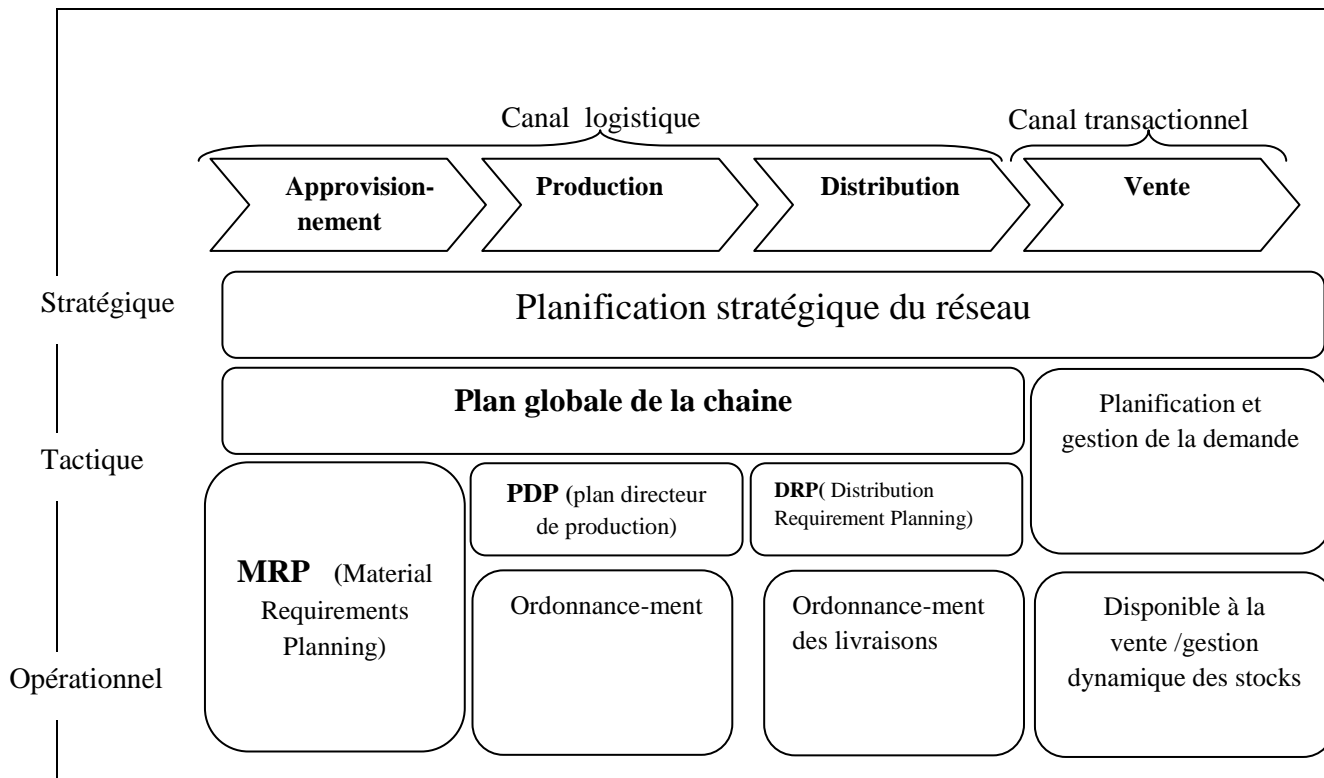


Figure II.1 : les niveaux de la planification des chaînes logistiques [10]

2.3.1. planification stratégique [6]

Stadler et Kilger., 2001 : qualifie trois grandes familles de problèmes de planification:

- la localisation et la capacité des entités physiques dans le réseau.
- la relation entre donneurs d'ordre et fournisseurs et la sélection des partenaires.
- les stratégies de gestion du processus logistique associée à l'infrastructure.

Pirard, 2005: Classiquement, les problèmes stratégiques concernent la création d'un réseau logistique ou la reconfiguration d'un réseau existant

Terzia et Cavalieri, 2004: la localisation et la détermination des capacités des entités physiques de distribution, de production et de stockage.

Goetschalckx et al., 2002: le routage des flux de matières à travers le réseau logistique.

Steger-Jensen et Svensson, 2004: le choix des technologies d'aide à la décision et le système d'information associé.

Selk et al., 2006: le choix des technologies permettant la communication de l'information dans les entités et entre les entités.

Les décisions stratégiques qui sont prises à ce niveau matérialisent la politique à long terme de l'ensemble de la chaîne. Dans ce contexte, **Ganeshan et al,** proposent une classification des décisions stratégiques selon quatre grandes catégories de problématiques qui sont les suivantes:

1. Déterminer les objectifs stratégiques communs pour l'ensemble des partenaires de la chaîne.
2. Définir la structure de la chaîne, essentiellement en termes de typologie et de choix des différents partenaires.
3. Développer la compétitivité de l'ensemble des entreprises partenaires.
4. Faire évoluer les stratégies du management de la chaîne.

Miller, 2001 : présente un exemple des décisions prises à ce niveau comme suit :

- Localisation optimale des nouveaux sites (usines, entrepôts, etc.)
- Positionnement de nouveaux sites ou fermeture de sites
- Détermination de la capacité globale des sites et leurs activités
- Lancement de nouveaux produits
- Caractérisation du réseau de transport et des prestataires de transport.
- Choix des fournisseurs.

Les décisions stratégiques ont une grande influence sur la réussite ou l'échec de la chaîne en termes de compétitivité et de rentabilité sur le marché. Ces décisions stratégiques sont l'objet d'une prise de risque compte tenu du changement rapide et de l'évolution permanente des caractéristiques du marché.

Enfin, la dernière famille de problèmes définis par Stadler au niveau stratégique, consiste en la définition des processus logistiques utilisés pour le fonctionnement de la chaîne logistique .

2.3.2. Planification opérationnelle :

Selon **Génin et al., 2001,0** la planification consiste à piloter l'approvisionnement, la production et la distribution pour atteindre les objectifs fixés au niveau tactique. Il s'agit donc d'un niveau de planification décentralisée qui détermine l'ordre dans lequel chaque activité doit être réalisée dans le cadre de décisions fixées au niveau tactique [13].

La planification opérationnelle est réalisée au moyen de lancements d'ordre de fabrication (produits finis, composants) et de livraison (matières premières, produits finis, etc.).

La littérature concernant la modélisation et la résolution de ces problèmes est également très riche et basée essentiellement sur l'optimisation de modèles de référence dont les plus connus sont pour la partie ordonnancement le **Flowshop**, le **Jobshop**, le **RCPS** (Resource Constrained Project Scheduling Problem) et le **HSP** (Hoist Scheduling Problem). Le lecteur peut se référer aux travaux de (Grangeon, 2001), (Manier, 2003) et (Kemmoé, 2007).

Une autre partie de la littérature se focalise sur des problèmes de transport. Les modèles les plus connus sont les suivants : **TSP** (Traveling Salesman Problem), **VRP** (Vehicule Routing Problem), **CARP** (Capacitated Arc Routing Problem) et **PDP** (Pickup and Delivery Problem). Les lecteurs peuvent se référer aux travaux de (Laporte, 1992 (a) et (b)) [6].

2.3.3. Planification tactique :

Dans notre cas d'étude on va s'intéresser à la planification tactique de la chaîne logistique qui vise à calculer *un plan de production* et dont l'horizon de temps peut varier de six à dix-huit mois. Dans ce plan, les quantités à produire par période (une période de planification varie principalement entre une semaine et un mois) sont calculées de façon à répondre aux demandes au moindre coût. Ces décisions s'inscrivent dans un cadre logique dessiné par les décisions stratégiques.

3. Planification de la production :

La planification de la production est une décision tactique qui constitue un lien entre les décisions stratégiques du long terme et les décisions opérationnelles du court terme. Les questions qui se posent à ce niveau portent sur l'utilisation optimale des moyens de production dans le but de satisfaire les demandes aux moindres coûts. La planification part des informations suivantes :

- Les demandes (connues ou estimées).
- La capacité de production (par unité de temps, atelier ou machine).
- Le volume de main d'œuvre et qualifications disponibles.
- Les informations sur le produit (nomenclature, spécifications techniques de production, délai d'obtention ...).
- Les différents coûts (production, lancement, non satisfaction des demandes, stockage, rupture de stocks ...).

3.1. Hiérarchie de la planification

- La planification de la production est un ensemble de tâches qui s'effectuent en séquence, avec différents degrés de précision. La complexité de ces tâches, l'incertitude des données sur un horizon de planification de plusieurs mois et le nombre de variables impliquées nous obligent à procéder par étapes [12].

Ces étapes sont présentées dans le diagramme ci-bas.

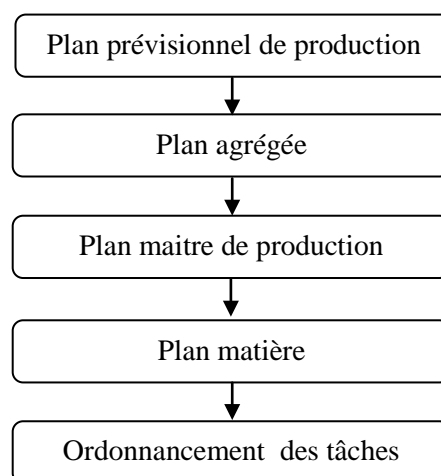


Figure II.2 : Hiérarchie de la planification [12]

3.1.1. Le plan prévisionnel de la demande :

Ce plan permet d'estimer la quantité de produits que les clients vont demander à chacune des périodes. Plus on s'éloigne dans le temps, plus les prévisions de ventes prennent une part importante du plan prévisionnel.

Les prévisions sont donc un élément vital à la bonne coordination des activités des différents départements d'une compagnie. Il est important que ces derniers fassent leur planification en se basant sur les mêmes suppositions en ce qui concerne l'avenir [5].

Pour la plupart des entreprises, l'établissement de prévisions est préalable pour une gestion efficace des stocks. Comme l'explique (Lai et al.2006), « les prévisions sont la base de tous les systèmes de gestion de production. » Toute la supply chain s'articule à partir des données issues des modèles de prévisions. Le choix d'une méthode de prévision peut donc influencer le choix d'une politique de gestion de stock et l'estimation de ses paramètres. Mais le niveau et la fiabilité des stocks vont également influencer d'autres secteurs clés de l'industrie tels que les décisions d'investissements, l'achat d'équipements, la gestion des capacités ou encore la gestion financière de l'entreprise.

Dans (Fleishmann et al ,2002), les auteurs montrent l'utilité de la prévision et de la réalisation d'un planning comme un outil d'aide à la décision permettant d'organiser la Supply Chain sur tous les horizons de temps à tous les niveaux.

La réalisation de prévision est primordiale pour la compétitivité des entreprises. Les questions à se poser afin de répondre à cette problématique et ainsi pouvoir bien comprendre le processus de réalisation et d'utilisation de ces prévisions sont les suivantes : Quelle Demande prévoir ? Qui s'en occupe ? Quel est l'horizon de prévision ? Quelles sont les techniques de prévisions ?

Dans le domaine académique, la prévision occupe une place importante. Etant donné le rôle primordial de la prévision, on comprend pourquoi de nombreux modèles sont élaborés depuis le début de 20^{ème} siècle. Les recherches se sont principalement développées à partir des années 50 avec des modèles mathématiques. Une revue de la littérature a été effectuée par (Stadtler 2005). On y retrouve l'intérêt de la prévision pour la Supply Chain globale dans le but d'intégrer différentes organisations et de coordonner leurs flux afin de satisfaire le consommateur final.

3.1.1.1.La réalisation des prévisions :

Le processus de réalisation est complexe. la présentation de ce processus complet incluant notamment la récupération des informations, point prépondérant pour permettre une bonne mise en place de la prévision (Lee et al.1997),(Chen et al.2007).

Une fois les données sont récupérées, elles sont analysées et transformées afin de pouvoir être traitées par des modèles de prévision. Cette transformation permet par exemple d'enlever la saisonnalité ou la tendance pour ne travailler que sur une partie de la série temporelle. Une des méthodes de transformation les plus répandues est celle élaborée par (Box et al.1976).

Cette transformation dans certains cas joue un rôle prépondérant dans le résultat final de la prévision comme l'explique (Fukuda 2006).

3.1.1.2. Les méthodes de prévisions :

Les méthodes de prévisions scindent en deux parties. D'un coté les méthodes qualitatives regroupant les méthodes s'appuyant sur l'avis d'experts, les enquêtes consommateurs ou les données non quantifiables. De l'autre coté, se trouvent les méthodes quantitatives s'appuyant sur l'étude des données statistiques comme les historiques de demandes ou les corrélations entre les demandes à prévoir et des indicateurs externes (production industrielle, évolution PIB,...).

Dans la figure suivante nous retrouvons les principales méthodes que nous détaillerons par la suite

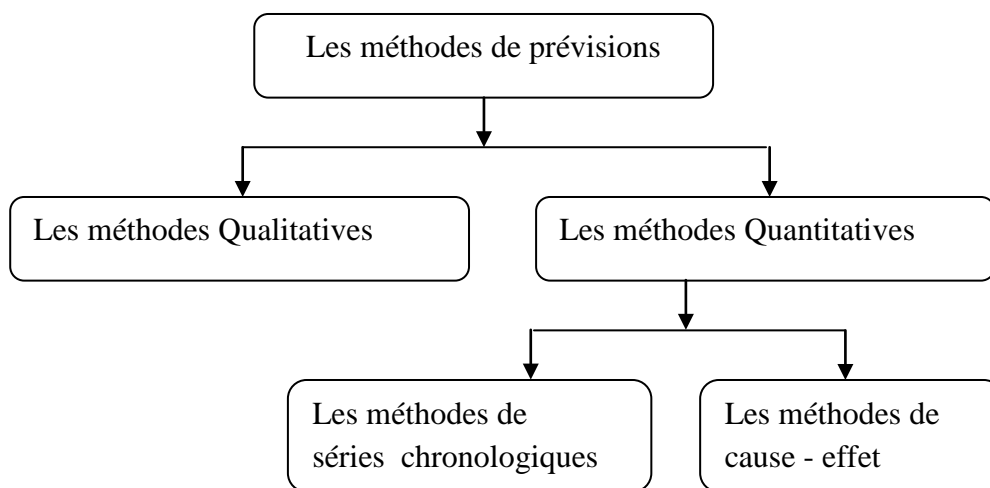


Figure II.3 : les méthodes de prévision

Une revue des principales méthodes de prévisions (extrapolation, méthodes statistiques, méthodes quantitatives etc.) avec une classification par objectifs et par type d'approche a été réalisée (Fildes et al.2008) [23].

3.1.1.2.1. Les méthodes qualitatives : [5]

- **Utilisation du jugement humain**

Les approches les plus simples, qui sont parfois les plus rapides, ne nécessitent que l'opinion subjective de personnes, sans qu'il soit nécessaire d'exprimer la prévision à l'aide d'équations mathématiques. Plusieurs méthodes de ce type existent et nous présentons ici les quatre principales. Ces méthodes peuvent également servir à compléter les prévisions faites à partir de méthodes quantitatives.

- **Entrevue d'experts**

Lorsqu'il n'y a pas de données historiques, l'opinion d'experts peut être la seule source d'informations pour préparer les prévisions. Les gestionnaires ou experts des départements de ventes, de l'administration, de la production et des achats sont alors appelés à donner leur estimé des ventes futures.

La mise en commun des différentes prévisions peut être faite de plusieurs manières. Une première méthode consiste à mener des entretiens individuelles et à combiner les résultats. Une

seconde méthode consiste à réunir les experts dans une salle et leur demander d'en arriver à un consensus.

Cette méthode a l'avantage de donner une prévision dans un laps de temps relativement court et amène une variété de points de vue. Il est cependant plus difficile de séparer la prévision par territoires et produits spécifiques.

- **Opinion des vendeurs**

Les vendeurs sont en contact direct avec les clients et sont donc bien positionnés pour voir les changements dans la demande des clients. Pour développer la prévision, chaque vendeur détermine combien il estime vendre de chaque produit dans l'année à venir. Le directeur des ventes est alors responsable de l'agrégation des données de ses vendeurs pour en arriver à une prévision globale par région géographique ou par groupe de produits.

Les prévisions faites par les vendeurs peuvent ne pas être justes lorsque des bonus sont payés aux vendeurs qui dépassent leur objectif de ventes. Dans ces conditions, il est clairement avantageux pour les vendeurs de baisser leurs estimés.

- **Enquêtes auprès des clients**

Certaines compagnies font leur propre enquêtes de marché pour une clientèle cible. Des vendeurs peuvent demander à leurs clients ou à des clients potentiels leur plan d'achat pour le futur. Des questionnaires envoyés par la poste ou administrés par téléphone peuvent également être utilisés pour obtenir l'opinion des consommateurs. Pour être efficaces, les plans d'échantillonnage doivent être bien conçus afin de garantir que les résultats sont statistiquement fiables et représentatifs de la clientèle cible.

Cette méthode offre l'avantage de donner à l'entreprise l'opportunité de connaître un peu mieux la pensée derrière les intentions du client. On peut également en apprendre plus sur les avantages et les inconvénients du produit aux yeux du client.

Un des inconvénients de la méthode est qu'elle demande beaucoup de temps et d'efforts.

- **Enquêtes Delphi**

La méthode Delphi est une technique de groupe dans laquelle des experts sont questionnés individuellement sur leur perception de la tendance future. Les individus ne se rencontrent pas en groupe pour réduire le risque qu'un consensus soit atteint à cause de personnalités dominantes ou de supériorités hiérarchiques. Les prévisions et les justifications qui les accompagnent sont résumées par la personne s'occupant de l'enquête puis retournées aux experts avec d'autres questions. Ce processus continue jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint par le groupe.

3.1.1.2.2. **Les méthodes quantitatives :[23]**

Les méthodes quantitatives jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité des prévisions (**Lawrence et al.2006**).

Les méthodes quantitatives sont basées sur les données historiques ou sur des associations entre des variables de l'environnement comme par exemple les ventes mensuelles

réalisées au cours des dernières années, les indices boursiers et économiques et les achats de produits complémentaires.

Deux grandes familles de méthodes quantitatives existent : les méthodes de séries chronologiques (suites d'observations dans le temps prises à intervalles réguliers) qui permettent de prévoir la demande en fonction des données historiques, et les méthodes causales (prévisions associatives) qui permettent d'établir des relations de cause effet entre certaines variables de l'environnement et la demande.

L'avantage des méthodes quantitatives est la rapidité de traitements une fois le modèle développé. Malheureusement le recueil des données peut parfois impliquer des investissements conséquents. Dans certains cas, ces données sont déjà présentes dans les systèmes d'information de l'entreprise (ex : ventes des mois passés) ou facilement accessibles (ex : indices économiques) et peuvent alors être plus facilement utilisées.

3.1.1.2.2.1. Les méthodes de série chronologiques :

Définition

Une série chronologique est une séquence de données récoltées à intervalle de temps régulier et présentées dans leur ordre chronologique. Une séquence de données sur les ventes journalières, hebdomadaires ou mensuelles est un exemple de série chronologique [5].

Voici les trois composantes généralement reconnues pour les séries chronologiques :

♣ Tendance :

La tendance est le mouvement général vers le haut ou vers le bas du niveau moyen de la demande dans le temps. Un historique de données couvrant plusieurs années est souvent nécessaire afin de déterminer les tendances. Les tendances peuvent être linéaires ou non linéaires.

♣ Saisonnalité :

La composante saisonnière est une fluctuation de la demande au-dessus et au-dessous de la tendance et qui se répète à intervalles réguliers. La demande pour plusieurs produits ou services varie selon la température (chaude en été et froide en hiver) et se répète à chaque année.

♣ Cycle :

Les cycles sont similaires aux composantes saisonnières, à l'exception que l'amplitude et la longueur des cycles (plus d'un an) peuvent varier dans le temps.

3.1.1.2.2.1.1. Les méthodes de lissage exponentiel :

A. Lissage exponentiel simple:[5]

Le lissage exponentiel est une autre forme de moyenne mobile pondérée. À chaque période, cette méthode ajuste la demande moyenne en proportion de la différence entre la dernière demande réelle et la prévision correspondante:

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

P_{t+1} : prévision de la demande pour la période $t+1$

D_t : Demande réelle à la période t

P_t : prévision de la demande pour la période t

α : Constante de lissage ($0 \leq \alpha \leq 1$)

Si α est grand, plus de poids est mis sur la plus récente donnée et moins de poids sur les données passées, ce qui résulte en une prévision qui réagit rapidement aux changements. Si α est petit, alors plus de poids est mis sur les données passées et la prévision est plus stable.

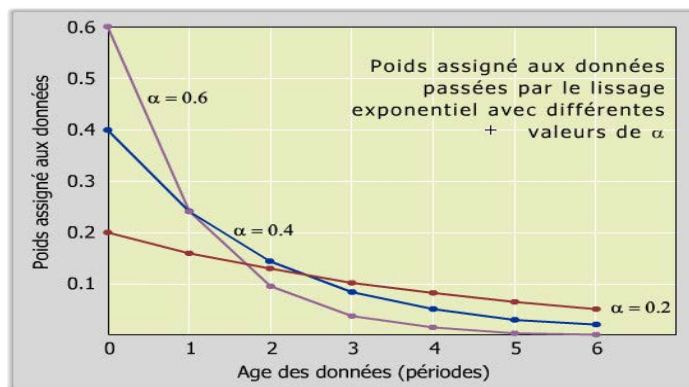


Figure II.4: Graphique du poids assigné aux données [5]

- **Le paramètre α :**

Constante de lissage α est une valeur décimale comprise entre 0 et 1. Souvent, elle est choisie de manière à ce que les prévisions produites soient plus près des données réelles que toute prévision faite avec d'autres valeurs de α .

- **Détermination de la première prévision :**

Puisque à chaque période, on calcule la prévision à partir de la prévision précédente, on peut se demander comment calculer la première prévision.

B. Lissage exponentiel double (Holt) :[5]

Il existe plusieurs modèles utilisant le lissage exponentiel double pour les prévisions. Le modèle que nous présentons ici s'applique aux séries avec tendance linéaire.

Il comporte deux constantes de lissage prenant chacune des valeurs entre 0 et 1:

- α est utilisé pour lisser les variations aléatoires dans la demande
- β est utilisé pour lisser les variations dans l'estimé de la pente

Trois équations sont nécessaires au calcul de la prévision :

S_t est une estime du niveau de la demande au temps t . Cette équation est très similaire à celle utilisée dans le lissage exponentiel simple. Lorsqu'une observation de la demande à la période (D_t) devient disponible, elle est utilisée dans le calcul de la moyenne avec l'estime précédent (S_{t-1}) ajusté de la pente (G_{t-1}).

G_t est l'estime de la pente au temps t . Chaque nouvelle estime de S_t nous permet de réviser l'estime de la pente ($S_t - S_{t-1}$). Les variations dans les estimes de la pente sont lissées en faisant une moyenne avec l'estime précédent de la pente, G_{t-1} .

P_{t-1} est la prévision faite au temps t (généralement la plus récente période pour laquelle des données sont disponibles) pour la demande qui devrait survenir dans m périodes. $m=1$ dénote la prochaine période dans l'horizon.

$$S_t = \alpha D_t + (1-\alpha) (S_{t-1} + G_{t-1})$$

$$G_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1-\beta) G_{t-1}$$

$$P_{t+m} = S_t + (m * G_t)$$

S_t : estime du niveau de la série à la période t

D_t : demande réelle au temps t

G_t : estime de la pente à la période t

P_{t+m} : prévision de la demande pour la période $t+m$

- **Calcul des prévisions subséquentes :**

Le modèle permet de faire des prévisions pour plusieurs périodes à venir. Ces prévisions pourront être ajustées à chaque période après que les données sur la demande réelle aient été obtenues.

C. Lissage exponentiel triple (Winters) : [5]

Winters s'est basé sur la méthode de Holt pour définir un modèle qui prend en considération la composante saisonnière. L'application de la méthode est donc très similaire à celle faite par Holt.

La méthode de Winters utilise trois équations de lissage: une pour le niveau de la demande, une pour la tendance et une pour la saisonnalité.

Le modèle de Winters a l'avantage d'être facile à mettre à jour au fur et à mesure que de nouvelles données deviennent disponibles.

Le modèle winters :

Équation 1: Niveau de la série (level)

$$L_{t+1} = \alpha (D_{t+1} / C_{t+1}) + (1-\alpha)(L_t + b_t)$$

L_{t+1} : le niveau de la série à la période $t+1$

α : le paramètre de lissage de niveau ($0 \leq \alpha \leq 1$)

D_{t+1} : la demande de la période t

C_{t+1} : la saisonnalité à la période $t+1$

L_t : le niveau de la série à la période t

b_{t-1} : la tendance à la période t

Équation 2: Tendance (trend)

$$b_t = \beta * (L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)(b_t)$$

b_t : la tendance à la période t

β : le paramètre de lissage de la tendance ($0 \leq \beta \leq 1$)

L_{t+1} : le niveau de la série à la période t+1

L_t : le niveau de la série à la période t

b_t : la tendance à la période t

Équation 3 : Facteurs saisonniers (seasonality)

$$C_{t+p+1} = \gamma (D_{t+1} / L_{t+1}) + (1 - \gamma) C_{t+1}$$

C_{t+p+1} : la saisonnalité à la période t+p+1

p: le nombre de périodes entrant dans le cycle qui se répète dans ce cas p=12

γ : le paramètre de lissage de la saisonnalité ($0 \leq \gamma \leq 1$)

D_{t+1} : la demande à la période t+1

L_{t+1} : le niveau de la série à la période t+1

C_{t+1} : la saisonnalité à la période t+1

Équation 4 : Prévision pour la période t + 1

$$P_{t+1} = (L_t + b_t)C_{t+1}$$

P_{t+1} : est la prévision faite à la période t pour la période t+1.

L_t = le niveau de la série à la période t

C_{t+1} : la saisonnalité à la période t+1

3.1.2. L'étape de planification agrégée

La planification agrégée évalue les ressources physiques, humaines et monétaires qui seront nécessaires pour répondre à la demande prévue. Plusieurs solutions potentielles sont produites et évaluées selon leur robustesse à rencontrer les critères de coûts, de quantités et de délais.

3.1.2.1. Définition :

Il existe plusieurs définitions de la planification agrégée, on a cité quelques définitions :

Définition selon Nam et Logendram 1992: « La planification agrégée de la production a pour but de faire la meilleure utilisation possible des ressources humaines et physiques d'une entreprise pour rencontrer la demande anticipée des clients. Le plan de production agrégé établira simultanément les niveaux optimaux de production, d'inventaire et d'employés sur un horizon temporel de planification donné, de manière à rencontrer la demande de tous les produits qui se partagent ces mêmes ressources limitées » [12].

Schroeder, 1992: « Tout d'abord, il y a les variables qui vous permettent de modifier la capacité de production grâce à la programmation : les heures supplémentaires, l'embauche de travailleurs temporaires, la sous-traitance d'autre par il existe d'autres variables de la demande peut influencer sur le comportement du marché par la publicité, la gestion des prix, promotions, etc. » [1]

Tadei et al. (1995) : « On peut trouver l'application de la planification agrégée et l'ordonnancement dans l'industrie des produits agroalimentaire » .

Grossman, 2002; Savage, 1997: « En particulier, un moyen de faciliter la mise en œuvre des modèles de recherche opérationnelle est par l'utilisation d'une feuille de calcul, la plateforme habituelle des gestionnaires des opérations ».

Bradley et Arntzen (1999) : disent que l'entreprise devrait inclure dans les modèles agrégées certaines décisions de capacité, étant donné que les investissements dans l'inventaire et des équipements sont équivalents dans de nombreux cas.

Robinson et Dilts, 1999: Tandis que les modèles de planification agrégées exigent une grande quantité de données, il doit être intégré dans le système d'information de l'entreprise pour fonctionner correctement. Les professionnels de la recherche opérationnelle devraient être conscients du potentiel et des défis causé par la diffusion du système de planification des ressources de l'entreprise à la fin des années nonante.

Piper et Vachon (2001) : indiquent que la littérature de planification agrégée ne tient pas compte correctement pour les pertes de productivité engagés par les licenciements et l'embauche des employés.

Buxey (2003) : montre que la majorité des entreprises ont tendance à adopter une (chase strategy), en évitant les stocks saisonniers élevés.

Buxey, 2005: Les modèles de la planification agrégée sont suffisamment flexibles pour aider les entreprises à prendre des décisions représentatives, mais ils ne sont pas très répandus dans les pratiques réelles.

Silva et al. (2006): présentent un système d'aide à la décision interactive pour la planification de la production qui utilise un modèle de programmation linéaire mixte en nombres entiers avec une interface de tableur.

Origine du mot agrégé : Le terme **agrégé** vient du latin « aggregare » qui signifie unir en un tout. Dans les faits, on ne cherche pas, lors de la planification agrégée, à différencier chacun des éléments mais plutôt à les regrouper en des ensembles cohérents permettant d'évaluer l'ampleur des ressources requises.

L'agrégation des décisions permet de simplifier considérablement la formulation et la résolution des problèmes. Le plan de production ainsi obtenu est appelé plan agrégé. Cependant, ce plan doit être calculé de manière à être réalisable. Par exemple : les produits sont agrégés par familles, les ressources en grandes catégories

3.1.2.2.L'agrégation est effectuée en :[12]

- Consolidant les produits similaires en groupes ou familles :
 - Demande similaire, coûts similaires et temps de production similaire
- En regroupant les machines en centre de production
- En regroupant les différentes compétences en groupes ou centre de compétences
- En consolidant les clients individuels par ville ou région
- L'agrégation force la définition d'une unité de mesure équivalente
- Exemple heures de production

3.1.2.3.Les informations requises pour la planification agrégée :

- Prévision de la demande de chaque période
- Main-d'œuvre
- Temps régulier (heure).
- Temps supplémentaire (Da/hr)
- Temps de production par unité
- Contrainte:
 - Capacité, temps supplémentaire, embauche, budget, rupture de stock et arriéré.

3.1.2.4.Les coûts à considérer :[12]

L'ensemble de coûts à considérer sont :

- Coût de production en temps régulier
- Coût de production en temps supplémentaire
- Prime à la production de soir et de nuit
- Coût d'embauche et de mise à pied du personnel
- Coût de rupture de stock
- Coût de sous-traitance
- Coût pour l'ajustement de la capacité.
- Coût pour l'augmentation de la capacité machine (Da/machine)
- Coût d'inventaire (Da/unit/période).
- Coût associé une commande en arriéré (Da/unit/période)

Dans les différents secteurs industriels, tous ces coûts n'ont pas la même importance ou la même influence dans la production d'un plan agrégé.

♣ Coût en temps régulier :

Un plan de production agrégé permet de déterminer l'organisation des ressources manufacturières qui permettra de respecter les délais et les quantités, au moindre coût. Le moindre coût est habituellement la production en temps régulier, sans inventaire, sans embauche, sans prime de nuit, etc. Lorsqu'il est possible de produire toute la demande en temps régulier, le plan de production est simple à réaliser. Le défi réside plutôt dans la minimisation de l'ensemble des autres coûts.

♣ **Les coûts de productions** comprennent, entre autres:

- Matières premières
- Main-d'œuvre
- Utilisation des équipements
- Amortissement
- Énergie
- Entretien
- Frais généraux : assurances, taxes,.

♣ **Coût en temps supplémentaire :**

Le temps supplémentaire est l'une des méthodes les plus simples pour accroître sa capacité de production. Si les équipements sont disponibles, la main-d'œuvre est déjà formée, les employés connaissent leur travail et sont autonomes. Si le coût de la main-d'œuvre n'est pas un des éléments majeurs du coût d'un produit, c'est une solution intéressante.

Cependant, dans la plupart des pays industrialisés, la semaine de travail est normalisée. Par exemple au Québec, la loi sur les normes du travail prévoit qu'une semaine normale de travail est de 40 heures et que l'employeur, au-delà de cette limite, doit majorer de 50% le salaire horaire de l'employé. (Commission des Normes du Travail du Québec).

♣ **Coût d'embauche et de mise à pied :**

Lorsque les ressources de production sont fortement liées à la main-d'œuvre et que le personnel n'est pas spécialisé, certaines d'entreprises utilisent la variation du niveau de main-d'œuvre pour ajuster leur capacité.

3.1.2.5. Politiques générales de planification [12]

Pour établir un plan agrégé de production, on présente habituellement ces politiques générales. Bien que peu d'industries utilisent directement ces politiques, elles démontrent les principes liées à la planification agrégée.

♣ **Variation de la capacité tout en gardant la main d'œuvre fixe :**

- ✳ Cette politique est utilisée lorsqu'il y a un excédent de capacité machine.
- ✳ Le nombre de main d'œuvre est stable mais la quantité d'heures travaillée est variable afin de synchroniser la production avec la demande
- ✳ On peut utiliser le temps supplémentaire ou des horaires flexibles.
- ✳ Nécessite une main d'œuvre flexible mais évite les problèmes de morale
- ✳ Niveau d'inventaire et d'utilisation bas.

♣ **Variation de l'Inventaire :**

- ✳ Maintenir une capacité machine et main d'œuvre stable avec un niveau de production plus ou moins stable.
- ✳ L'inventaire varie en fonction de la demande:

- Périodes de rupture de stock ainsi que des périodes avec beaucoup d'inventaire (sur stock)
- * On utilise les périodes de basses demandes pour produire pour les périodes de pointe
- * Meilleur pour le moral.
- * Beaucoup d'inventaire et donc des coûts associés à l'inventaire

♣ **Production synchronisée avec la demande :**

- * La production est synchronisée avec la demande en variant:
 - La capacité des machines.
 - Le niveau de la main d'œuvre.

En pratique: c'est difficile de varier la main d'œuvre ou la capacité des machines dans un horizon très court parce qu'il est :

- Coûteux
- Effet négatif sur le morale
- * Niveau d'inventaire très bas
 - À utiliser quand les coûts d'inventaire sont très haut ou dans le cas des produits périssables.

3.1.2.6. Outils de calcul et d'optimisation :

L'approche par programmation linéaire est très efficace en ce sens. Elle permet de déterminer la solution qui minimisera les coûts et de positionner des solutions plus acceptables en termes de stock ou de mises à pied.

3.1.2.6.1. Caractéristiques des modèles et performances

Les modèles linéaires sont des modèles qui se solutionnent très rapidement, même pour des problèmes comportant des milliers de variables.

Les modèles linéaires s'adaptent bien à la planification agrégée qui ne nécessite pas une solution très précise.

3.1.2.6.2. Classification des modèles mathématiques :

♣ **Modèle1 : modèle multi produit, multi période avec MO fixe :**

Ce modèle est pour objectif de minimiser la somme des coûts liées à la production, le stock, et la main d'œuvre dans une chaîne de production de plusieurs produit dans des différentes périodes tout en gardant le nombre d'ouvriers fixe dans chaque période de l'horizon de planification choisi sous des contraintes de la satisfaction de la demande avec un certain niveau de stock, la capacité de la main d'œuvre en nombre d'heure régulier et en nombre d'heure supplémentaire.

Les paramètres :

v_{it} = coût de production unitaire i à la période t (ce coût exclut les coûts de MO)

c_{it} = coût d'inventaire pour garder une unité du produit i de t à $t+1$

r_t = coût par heure-homme en temps régulier à la période t

o_t = coût par heure-homme en temps supplémentaire à la période t

d_{it} = prévision pour le produit i à la période t

k_i = nombre d'heure-homme requis pour produire une unité du produit i

$(rm)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps régulier à la période t

$(om)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps supplémentaire à la période t

I_{i0} = inventaire initiale pour le produit i

w_0 = niveau de MO initiale en temps régulier (en heure-homme)

T = nombre de périodes dans l'horizon de planification

N = nombre de produits

Les variables de décision :

X_{it} = nombre d'unité du produit i à produire à la période t

I_{it} = nombre d'unité du produit i en inventaire à la fin de la période t

W_t = nombre d'heure-homme en temps régulier utilisé à la période t

O_t = nombre d'heure-homme en temps supplémentaire utilisé à la période t

La fonction objectif :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (v_{it} X_{it} - c_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t W_t + o_t O_t) \quad (1)$$

Les contraintes :

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N k_i X_{it} - W_t - O_t \leq 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$0 \leq W_t \leq (rm)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$0 \leq O_t \leq (om)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N$$

♣ **Modèle 2 : modèle de lots avec coût de changement et capacité de MO fixe :**

Le deuxième modèle est pour objectif de minimiser la somme des coûts (de changement de type de produit, de la production, du stock, et de la main d'œuvre) dans une chaîne de production par lot dans des différentes périodes avec un nombre d'ouvriers fixe dans chaque période de l'horizon de planification choisi sous des contraintes.

Les paramètres :

v_{it} = coût de production unitaire i à la période t (ce coût exclut les coûts de MO)

c_{it} = coût d'inventaire pour garder une unité du produit i de t à $t+1$

r_t = coût par heure-homme en temps régulier à la période t

o_t = coût par heure-homme en temps supplémentaire à la période t

d_{it} = prévision pour le produit i à la période t

k_i = nombre d'heure-homme requis pour produire une unité du produit i

$(rm)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps régulier à la période t

$(om)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps supplémentaire à la période t

I_{i0} = inventaire initiale pour le produit i

w_0 = niveau de MO initiale en temps régulier (en heure-homme)

T = nombre de périodes dans l'horizon de planification

N = nombre de produits

S_{it} = coût de changement pour passer à la production du produit i à la période t

a_i = temps de changement nécessaire pour passer à la production du produit i

M = un grand nombre

Les variables de décision :

X_{it} = nombre d'unité du produit i à produire à la période t

y_{it} = variable de décision binaire relative à la possibilité d'arrangement du système de production pour passer à la fabrication de l'article i

I_{it} = nombre d'unité du produit i en inventaire à la fin de la période t

W_t = nombre d'heure-homme en temps régulier utilisé à la période t

O_t = nombre d'heure-homme en temps supplémentaire utilisé à la période t

La fonction objectif :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (s_{it} y_{it} + v_{it} X_{it} + c_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t W_t + o_t O_t) \quad (1)$$

Les contraintes :

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N (a_i y_{it} + k_i X_{it}) - W_t - O_t = 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$0 \leq W_t \leq (rm)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$0 \leq O_t \leq (om)_t \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$X_{it} \leq M y_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$y_{it} \in (0,1) \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

♣ **Modèle 3 : modèle de lots avec capacité MO variable d'une période à l'autre :**

Le modèle suivant minimise la somme des coûts liées à la production, le stock, et la main d'œuvre dans une chaîne de production de plusieurs produit dans des différentes périodes tout en gardant le nombre d'ouvriers fixe dans chaque période de l'horizon de planification choisi sous des contraintes de la satisfaction de la demande avec un certain niveau de stock, la capacité de la main d'œuvre en nombre d'heure régulier et en nombre d'heure supplémentaire.

Les paramètres :

v_{it} = coût de production unitaire i à la période t (ce coût exclut les coûts de MO)

c_{it} = coût d'inventaire pour garder une unité du produit i de t à $t+1$

r_t = coût par heure-homme en temps régulier à la période t

o_t = coût par heure-homme en temps supplémentaire à la période t

d_{it} = prévision pour le produit i à la période t

k_i = nombre d'heure-homme requis pour produire une unité du produit i

$(rm)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps régulier à la période t

$(om)_t$ = nombre d'heure-homme disponible en temps supplémentaire à la période t

I_{i0} = inventaire initiale pour le produit i

w_0 = niveau de MO initiale en temps régulier (en heure-homme)

T= nombre de périodes dans l'horizon de planification

N=nombre de produits

S_{it} = coût de changement pour passer à la production du produit i à la période t

a_i = temps de changement nécessaire pour passer à la production du produit i

M = un grand nombre

Comme la main d'œuvre peut varier d'une période à une autre soient :

h_t = le coût d'embauche d'un ouvrier à la période t

f_t = le coût de mise à pied d'un ouvrier à la période t

Les variables de décision :

X_{it} = nombre d'unité du produit i à produire à la période t

I_{it} = nombre d'unité du produit i en inventaire à la fin de la période t

W_t = nombre d'heure-homme en temps régulier utilisé à la période t

O_t = nombre d'heure-homme en temps supplémentaire utilisé à la période t

y_{it} = variable de décision binaire relative à la possibilité d'arrangement du système de production pour passer à la fabrication de l'article i

Comme la main d'œuvre peut varier d'une période à une autre soient :

H_t = le nombre d'ouvriers opérationnels à la période t

F_t = le nombre d'ouvriers licenciés à la période t

La Fonction Objectif :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (s_{it} y_{it} + v_{it} X_{it} + c_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t W_t + o_t O_t + h_t H_t + f_t F_t) \quad (1)$$

Les contraintes :

$$X_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N (a_i y_{it} + k_i X_{it}) - W_t - O_t = 0, \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$W_t + W_{t-1} + H_t - F_t = 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$-p W_t + O_t \leq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$X_{it} \leq M y_{it} \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$W_t, O_t, H_t, F_t \geq 0 \quad t = 1, \dots, T \quad (8)$$

$$y_{it} \in (0,1) \quad , \quad t = 1, \dots, T; \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

3.1.3. Le plan maître de production

Est établi à partir du plan agrégé. Il découpe en produits différents les items regroupés de l'étape précédente. On y retrouve donc, pour chacune des périodes futures considérées dans l'horizon de planification, les quantités de chacun des différents produits que l'on devra fabriquer. Le plan de production tient en compte les produits déjà en inventaire; les quantités à produire sont donc réduites conséquemment.

Connaissant les produits à mettre en fabrication, il est maintenant possible d'établir la liste des composantes requises pour les réaliser.

3.1.4. Plan matière :

Dans cette étape, À partir de la structure des produits à réaliser, on peut connaître les sous-assemblages, les composantes et la matière première nécessaires à la confection des produits. En tenant compte des items en inventaire, du nombre de composantes par produit, des délais de commande et de livraison, on peut lancer les commandes chez les fournisseurs. Les commandes sont émises de manière à s'assurer que les items seront disponibles au moment où ils seront requis tout en minimisant les coûts de maintien en stock.

3.1.5. L'ordonnement de la production :

Cette étape consiste à planifier dans le détail chacune des tâches à effectuer. Ainsi, on connaît maintenant quels sont les produits devant être livrés à chacune des périodes et l'ensemble des composantes pour les réaliser ont été commandées. Il faut planifier chacune des étapes de fabrication et d'assemblage pour arriver à leur confection. Il s'agit donc de préciser le moment où chacune de ces tâches sera réalisée, le poste de travail, l'équipement, l'outillage et les ressources humaines qui y seront affectés.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les principaux outils scientifiques utilisés dans la planification de la production. Précisément nous avons détaillé les méthodes de prévision des demandes ainsi que les modèles de la planification agrégés. En se basant sur ces deux concepts, nous contribuons dans la suite à l'application de ces deux outils sur une chaîne logistique agroalimentaire des boissons à savoir l'entreprise l'EXQUISE.

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons entamer notre étude par une description détaillée de la problématique rencontré dans l'entreprise l'EXQUISE. Cette étude s'appuie sur les données historiques des ventes. Premièrement, nous analysons les courbes des données collectées afin d'identifier la méthode de prévision à utiliser. Après, nous avons établi un modèle mathématique de planification agrégée inspiré de la littérature. Ce modèle servira d'établir le plan de production pour chaque ligne indépendamment. Ci après, pour une vision futuriste de la planification de production, nous avons aussi établi un modèle de planification agrégée multi lignes afin d'équilibrer avec plus d'affinité les différents équilibrages de charge par rapport aux demandes mensuelles des clients.

2. Description de la problématique :

L'entreprise l'exquise existait depuis 1928, le rendement de l'entreprise est diminué à cause de la vétusté des machines qui amène à l'incapacité de satisfaire les demandes du produit l'Exquise, ainsi que la concurrence rencontré par les concurrents existant au marché national par exemple (Ifri, Ramy, Hamoud Boulam). Une concurrence ardue qui a influe sur l'image de l'entreprise dans le marché national..

Après notre petite expérience définie par la période de stage effectué au sein de l'entreprise l'exquise, nous avons remarqué que l'entreprise suit une mauvaise gestion de la production.

La stratégie de production de l'entreprise est comme suit :

- L'entreprise fabrique des produits à la commande.
- L'entreprise n'applique pas la planification agrégée mais plutôt procède une stratégie de production inorganisé.
- La capacité de production de l'entreprise poursuit les ventes de l'entreprise, donc l'entreprise travaille comme suit:
 - Généralement entre la période de Novembre à Mars, la demande est inférieure ou égale la capacité de production de l'entreprise, et ainsi chaque ligne de production fonctionne pendant 8 heures/ jour à raison de 5 jours par semaine. Dans le cas ou elle reçoit des demandes imprévues l'entreprise travaille le samedi ou par l'utilisation des heures supplémentaires.
 - Par ailleurs entre la période d'Avril et Octobre, la demande est supérieure ou égale la capacité de production. Pour cela, l'entreprise peut avoir dans des périodes de piques de demandes jusqu'à trois équipes de main d'ouvre par jour durant 5 jours par semaine. Alors, par l'admission d'une équipe de travailleurs temporaires, la capacité de production de l'entreprise sera augmentée.
- Le service commerciale de l'entreprise est instable qui conduit à la baisse des ventes des produits sont prendre en considération les notions de stock de sécurité.

- L'absence de prévisions de la demande détaillée et précise influe sur les demandes annuels convenables à la planification des opérations. Par la suite le chiffre d'affaires de l'entreprise est quasiment stagnée ce qui présente un sérieux handicap pour le service d'innovation et de développement.

3. Adaptation de la planification de production:

3.1. Le plan prévisionnel :

3.1.1. La réalisation de prévisions :

Dans des horizons de planification, qui peuvent aller entre 6 mois et une année et pour mieux gérer l'avenir de n'importe quelle entreprise, l'estimation des prévisions des demandes des clients est plus que primordiale. Pour cela, nous avons fait un calcul prévisionnel des demandes des périodes pour chaque ligne de production en utilisant la des prévisions saisonnières de Holt-Winters. Ce programme de prévision est écrit en langage MATLAB

Pour l'entreprise l'Exquise, il existe 5 types de produit à savoir :

- ✓ Boissons gazeuses en PET 1L
- ✓ Boissons gazeuses en PET 2L
- ✓ Boissons gazeuses en RB 100 CL
- ✓ Boissons gazeuses en RB 25CL
- ✓ Le jus en 25 CL

Pour chaque type de produits ses données historiques seront utilisées dans un but de construire les prévisions de l'année 2016 en se basant sur les historiques des années passées. Pour cela, le tracé des courbes des historiques collectées, nous oriente sur le bon choix de des paramètres de lissages qui sont aussi ajustés afin d'avoir de bon résultats

A. La ligne PET :

L'historique de la vente des produits de cette ligne est montré dans les tableaux suivant :

Tableau IV.1 : Les ventes Boissons Gazeuses PET 1L : (unité : Bouteille)

Années Mois	2011	2012	2013	2014	2015
Janvier	65 160	62 520	157 134	84 840	87 372
Février	32 712	34 902	67 914	122 316	133 590
Mars	182 358	139 578	132 366	99 198	117 222
Avril	104 682	268 566	221 292	185 826	112 872
Mai	194 178	155 418	156 234	196 746	197 544
Juin	163 386	260 376	426 828	176 220	254 034
Juillet	438 876	353 694	138 498	245 496	269 724
Août	9 750	61 362	435 792	179 064	225 630

Septembre	9 750	421 842	339 576	1 092	167 376
Octobre	743 220	214 992	303 546	279 522	205 740
Novembre	21 654	143 382	104 742	77 364	111 492
Décembre	9 708	94 470	134 970	57 042	81 258
Total	1 965 684	2 211 102	2 618 892	1 704 726	19 663 854

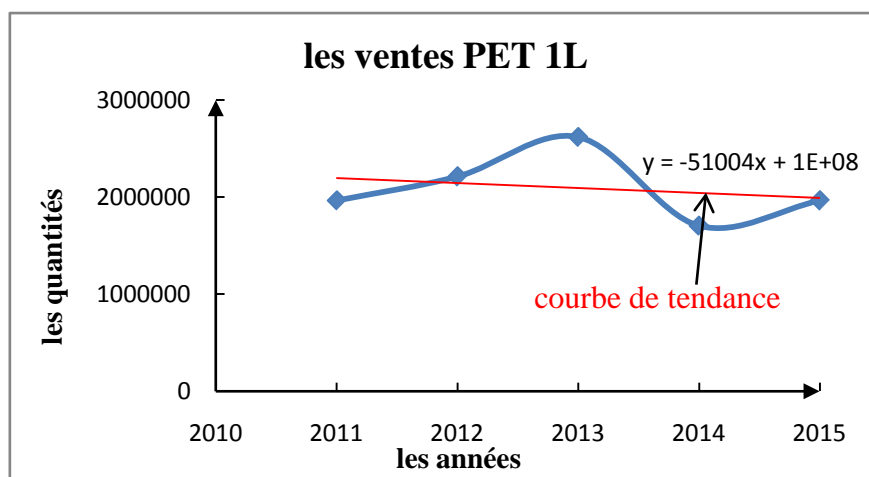


Figure IV.1 : les ventes annuelles des boissons en polyéthylène de 1L

Dans la figure IV.1, on remarque que les vente de produit **PET 1L** augmente de l'année 2011 jusqu' à l'année 2013 à cause de la disponibilité des machines. Puis de l'année 2013 jusqu' à l'année 2014 on remarque la diminution des ventes de ce produit à cause de la vétusté des machines. Ci après les ventes augmentent légèrement dont cela peut être expliqué par la rénovation des machines.

Tableau IV.2 : Les ventes Boissons Gazeuses PET 2L : (unité : Bouteille)

Années Mois	2011	2012	2013	2014	2015
Janvier	155 526	120 030	181 776	137 010	203 454
Février	130 050	94 092	145 392	183 288	84 234
Mars	131 850	252 966	240 540	131 448	191 166
Avril	202 644	145 824	304 248	310 554	140 874
Mai	187 266	326 688	230 058	168 552	234 828
Juin	273 522	350 328	362 418	339 198	200 688
Juillet	364 470	514 758	483 786	135 852	256 656
Août	790 944	676 056	396 054	269 118	438 882
Septembre	713 322	326 016	276 030	494 196	210 222

Octobre	212 406	469 944	406 164	159 636	156 540
Novembre	206 274	103 116	170 316	62 352	103 422
Décembre	149 826	138 438	115 254	233 358	178 728
Total	3 518 100	3 518 256	3 312 036	2 624 562	2 399 694

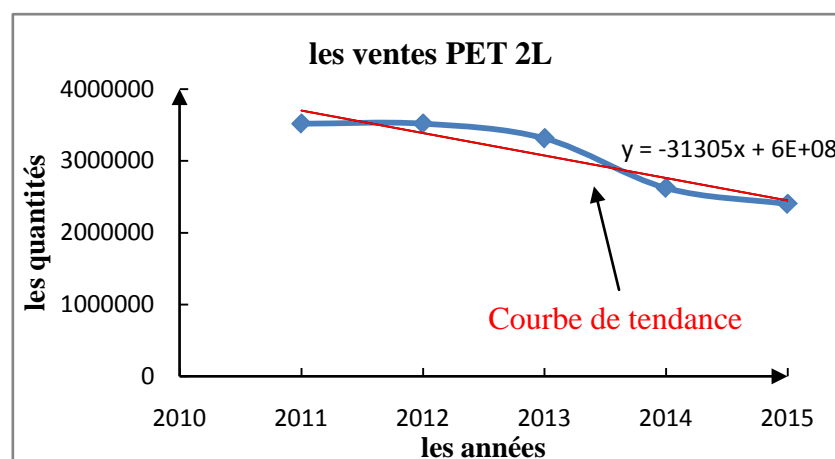


Figure IV.2 : les ventes annuelles des boissons en polyéthylène de 2 L

Dans la figure, on remarque que les ventes de produit **PET 2L** diminuent légèrement de l'année 2011 jusqu'à l'année 2013 à cause la vétusté des machines. Puis de l'année 2013 jusqu'à l'année 2014 on remarque la continuation de la baisse des ventes de ce produit. En effet ceci, est expliqué par l'instabilité des commandes des clients de produit **PET2L** et de la vétusté des machines.

B.La ligne RB100 :

L'historique de la vente des produits de cette ligne est montré dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Les ventes Boissons Gazeuses RB100 : (unité : Bouteille)

Années Mois	2011	2012	2013	2014	2015
Janvier	718 884	474 012	435 948	435 144	271 320
Février	611 940	419 748	0	392 760	243 252
Mars	791 328	515 328	360	475 992	376 524
Avril	827 028	504 708	33 876	536 052	342 456
Mai	876 744	651 252	54 120	511 092	371 568
Juin	862 464	615 864	123 792	551 988	257 340
Juillet	724 620	652 884	246 252	400 620	205 380
Août	572 580	682 776	572 532	445 464	95 988
septembre	382 764	618 144	522 372	573 048	450 888

Octobre	493 092	710 052	632 100	426 828	262 152
novembre	619 536	498 684	536 820	351 216	267 324
décembre	458 436	578 448	462 120	350 484	207 456
Total	7 939 416	6 921 900	3 620 292	5 450 688	3 351 648

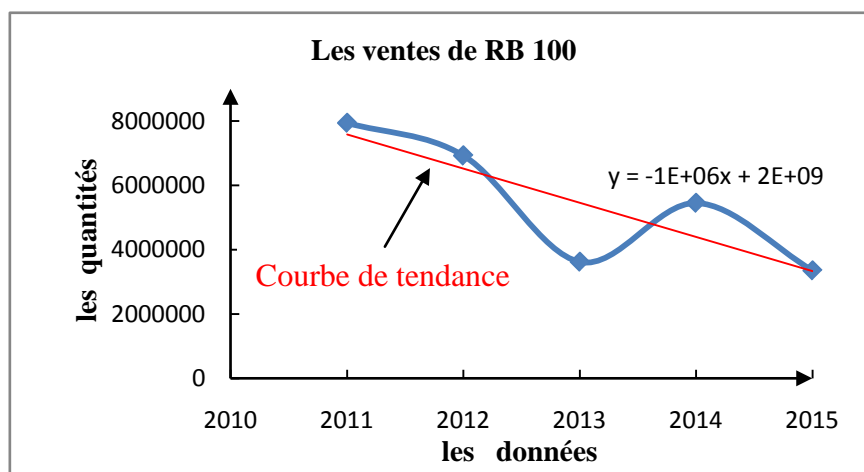


Figure IV.5 : les ventes annuelles des boissons gazeuses en RB 100

On remarque que les ventes de produit **RB100** diminuent légèrement de l'année 2011 jusqu' à l'année **2013** à cause de la vétusté des machines et l'instabilité des commandes des clients de ce produit. Puis de l'année **2013** jusqu'à l'année **2014** on remarque la baisse des ventes de ce produit qui peut être expliqué par l'instabilité des commandes des clients de produit **RB100** et de la vétusté des machines. Mais après l'année 2014 les ventes sont diminuent aussi une autre fois. Notamment, ceci est du à la concurrence d'une part à la concurrence et d'autre part en ventes perdues suite à l'insatisfaction de la demande à cause des pannes.

B. La ligne RB25 :

L'historique de la vente des produits de cette ligne est montré dans les tableaux suivant :

Tableau IV.3 : Les ventes Boissons Gazeuses RB 25 : (unité : Bouteille)

Années Mois	2011	2012	2013	2014	2015
Janvier	502 872	568 224	568 056	483 816	388 080
Février	460 416	472 392	494 904	441 864	356 280
Mars	629 088	588 912	445 248	497 904	540 864
Avril	732 432	599 616	650 856	692 760	574 320
Mai	775 896	769 488	607 656	548 808	614 640
Juin	616 680	870 168	708 552	619 224	336 576
Juillet	971 664	720 168	282 504	204 264	344 208

Août	392 064	449 712	673 392	751 944	828 096
Septembre	891 792	945 360	726 096	732 816	484 440
Octobre	755 688	703 416	582 216	575 976	524 736
Novembre	529 848	478 824	489 912	503184	469 872
Décembre	496 248	555 240	413 976	439 296	368 808
Total	7 754 688	7 721 520	6 643 368	6 491 856	5 830 920

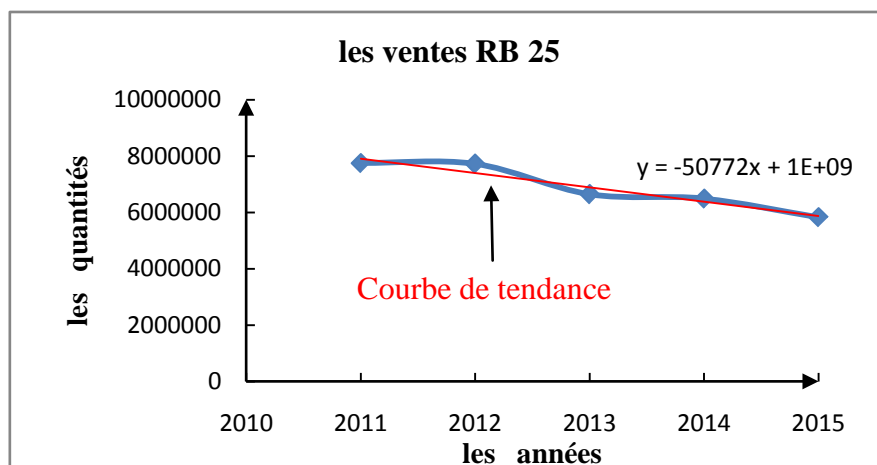


Figure IV.3 : les ventes annuelles des boissons gazeuses en RB 25

On remarque que les ventes de ce produit diminuent légèrement de l'année 2011 jusqu' à l'année 2012 à cause de l'instabilité des commandes des clients de ce produit. Puis de l'année 2013 jusqu'à l'année 2014 on remarque la chute des ventes de produit **RB25** est cela peut expliquer par l'instabilité des commandes des clients et de la vétusté des machines. Après on observe que les ventes sont légèrement augmenté de l'année 2013 jusqu'à l'année 2014 cela peut expliquer par la rénovation des machines d'où la satisfaction des demandes perdues mais malheureusement, on constate que les ventes de ce produit continue à diminuer aussi.

Tableau IV.4 : Les ventes jus en 25 CL :

Années Mois	2011	2012	2013	2014	2015
Janvier	42 144	37 488	59 472	14 472	16 104
Février	36 792	31 800	24 816	19 416	16 440
Mars	21 240	48 096	30 936	23 520	10 680
Avril	0	48 288	50 232	39 456	18 600
Mai	0	39 312	34 416	57 360	39 048
Juin	77 376	57 936	46 536	41 304	4 776
Juillet	57 888	48 312	6 576	26 064	13 104

Août	17 952	20 352	23 640	24 504	1 392
septembre	40 272	54 456	46 104	20 928	0
Octobre	41 256	50 808	31 752	26 664	0
novembre	25 392	43 752	46 992	21 552	0
Décembre	45 048	34 056	25 200	18 096	0
Total	405 360	514 656	426 672	333 336	120 144

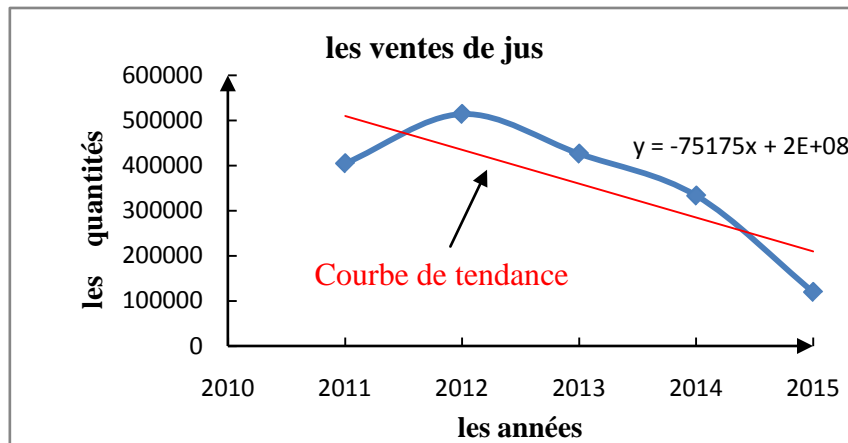


Figure IV.4 : les ventes annuelles de jus en RB 25

On remarque que les ventes de **jus** augmentent légèrement de l'année 2011 jusqu' à l'année **2012**. Puis de l'année **2012** jusqu'à l'année **2015** on remarque, une chute des ventes et cela peut être expliqué par l'instabilité de la production de jus à cause des pannes au niveau de la ligne RB25. Mais, à partir de l'année 2014, les ventes de **jus** diminuent d'une manière soucieuse.

3.1.2. La programmation Matlab :

Après l'analyse des courbes des ventes des produits de l'entreprise, on a choisi la méthode de prévision de **Winters**.

On a programmé la méthode winters en utilisant ses trois équations dont le programme est comme suit :

1. Déclarer :

✚ Le vecteur D qui représente les demandes réelles (l'historique)

✚ les paramètres :

- Le paramètre de lissage de niveau de la série (alpha α)
- Le paramètre de lissage de la tendance (Béta β)
- Le paramètre de lissage de la saisonnalité (Gamma γ)

2. initialiser :

✚ Le niveau : L_1

✚ La tendance : b_1

✚ La saisonnalité C_{13}

3. calculer :

✚ Le niveau de la série :

$$L_{t+1} = \alpha(D_{t+1} / C_{t+1}) + (1 - \alpha)(L_t + b_t)$$

✚ La tendance :

$$b_t = \beta * (L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)(b_t)$$

✚ La saisonnalité :

$$C_{t+p+1} = \gamma (D_{t+1} / L_{t+1}) + (1 - \gamma) C_{t+1}$$

✚ La prévision :

$$P_{t+1} = (L_t + b_t)C_{t+1}$$

3.2. La planification agrégée :

Dans cette partie de notre travail, nous optimisons la gestion de la production par rapport aux ressources humaines et techniques sous la condition de la satisfaction de la demande. Nous avons élaboré un modèle mathématique en nombre entier linéaire. Le but de cette optimisation est de maximiser le profit et minimiser l'ensemble des coûts liés à la production en considérant certaines contraintes de capacité de la ligne et capacité de la main d'œuvre. Pour cela les pourcentages de production de chaque gout ainsi que les paramètres utilisés lors de l'optimisation sont cités en bas :

3.2.1. Les données :

Tableau IV.5 : Le pourcentage de production de chaque gout dans chaque ligne

Les lignes	La ligne PET		La ligne RB100	La ligne RB25	
	BG 1L	BG 2L	BG 1L	BG 25CL	JUS 25CL
Arôme 01 : Ananas	35%	35%	10%	15%	0%
Arôme 02 : Pomme	20%	20%	35%	15%	0%
Arôme 03: Orange	15%	15%	15%	20%	100%
Arôme 04: Citron	10%	10%	20%	10%	0%
Arôme 05: Pomme vert	15%	15%	15%	35%	0%
Arôme 06: Cassis	05%	05%	05%	5%	0%

Tableau IV.6 : les données liées au produit :

Les lignes	La ligne PET		La ligne RB100	La ligne RB25	
	BG 1L	BG 2L	BG1L	BG 25CL	JUS 25CL
Les couts					
Cout de vente CV	46DA	71DA	27.5DA	10.8DA	15DA
Cout de production CP	18 DA	28 DA	11 DA	04 DA	06 DA
Temps de production T	0.000625 H	0.000667 H	0.000266 H	0.000166 H	0.000222 H
Temps de changement de format de produit TC	2H	2 H	-	4 H	4 H
Temps de changement de gout TCG	0.33 H	0.33 H	0.33 H	0.33 H	0.33 H

Tableau IV.7 : les coûts des ouvriers

Les heures	Heure Régulière	Heure Supplémentaire	Heure de main d'oeuvre Saisonnière
Le cout			
Le cout	103.85 DA	155.77 DA	105 DA

Tableau IV.8 : Données liées aux lignes

Les lignes		La ligne PET	La ligne RB100	La ligne RB25
Les données				
Capacité de la ligne	Temps régulier	173.3 H	173.3 H	173.3 H
	Temps supplémentaire	20 H	20 H	20 H
	Temps saisonniers	173.3 H	173.3 H	173.3 H
Nombre d'ouvriers		7 ouvriers	14 ouvriers	14 ouvriers

3.2.2. Les modèles mathématiques :

3.2.2.1. Modèle 01: Mono Ligne, Multi période, Main d'œuvre Fixe et Main d'œuvre Saisonnière

➤ **1^{ère} Approche : modèles valables pour les deux lignes PET et RB 25 :**

Les indices :

j: indice du type de produit tq $j \in J$

k: indice de l'arôme tq $k \in K$

p : indice de la période tq $p \in P$

Les paramètres :

T_j : Temps de production de produit j

TC_j : le temps de changement de format (type de produit j)

$T_{CG_{jk}}$: le temps de changement de l'arôme de produit j

MAR_p : Temps de micro-arrêts de chaque période

$PANN_p$: Temps des pannes de chaque période

$Capl_p$: capacité de la ligne en temps régulier

$Capls_p$: capacité de la ligne en temps supplémentaire

$Caplos_p$: capacité de la ligne hors la production régulière et supplémentaire (saisonnière)

CHr_p : coût d'une heure homme en temps régulier

CHs_p : coût d'une heure homme en temps supplémentaire

$CHos_p$: Coût d'une heure homme hors la production régulière et supplémentaire (saisonnière)

CP_j : coût de production d'un produit j

CV_j : coût de vente de produit j

Demande $_{jkp}$: la demande de l'arôme k conditionnée dans le type j dans la période p

N= nombre d'ouvrier occupant la ligne

$WNhr_p$: charge ouvrière régulière par période occupante de la ligne équivalente en heure d'hommes

Les variables de décision :

QP_{jkp} : la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p

$QP2_{jkpl}$: la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p et livrée dans la période l

QPR_{jkp} : la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p en heure régulier

QPS_{jkp} : la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p en heure supplémentaire

$QPMS_{jkp}$: la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p liée à la main d'ouvre saisonnière

$WNhr_p$: charge ouvrière supplémentaire par période occupante de la ligne équivalente en heure d'hommes

$WNhos_p$: charge ouvrière saisonnière par période occupante de la ligne équivalente en heure d'hommes

$$X1_{jkp} = \begin{cases} 1 & \text{si une action d'arrangement de la ligne pour passer à la production} \\ & \text{du produit } j \text{ dans } p \text{ est effectuée} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$X2_{jkp} = \begin{cases} 1 & \text{si une action d'arrangement de la ligne pour passer à la production} \\ & \text{de l'arôme } k \text{ dans le produit } j \text{ dans } p \text{ est effectuée} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$Xls_p = \begin{cases} 1 & \text{si la main d'ouvre régulière fait des heures supplémentaires dans } p \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$Xlos_p = \begin{cases} 1 & \text{si une main d'ouvre saisonnière est opérationnelle dans la ligne dans } p \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

La fonction objectif :

$$\begin{aligned} \text{MAX } Z = & \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 \sum_{p=1}^{12} (CV_j - CP_j) QP_{jkp} - \sum_{p=1}^{12} WNhr_p * CHR_p - \sum_{p=1}^{12} WNhs_p * CHs_p \\ & - \sum_{p=1}^{12} WNhos_p * CHos_p - \sum_{p=1}^{12} (XLS_p + XLOS_p) - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 \sum_{p=1}^{12} \sum_{p-s \leq l} 0.1 * QP2_{jkpl} \end{aligned} \quad (1)$$

Dans notre fonction objectif en va maximiser le profit en minimisant l'ensembles des coûts : le coût de production, le coût de la main d'oeuvre en temps regulier, le coût de la main d'oeuvre en temps supplémentaire, et le cout des ouvriers saisoniers, ainsi que le coût de stockage. Cette minimisation s'effectue sur toutes les périodes p de l'horizon de planification étudié.

Les contraintes :

Capacité de la ligne en temps régulier:

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 QPR_{jkp} * T_j + \sum_{j=1}^2 X1_{jp} * TC_j + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 X2_{jkp} * TCG_{jk} \leq Capl_p - MAR_p - PANN_p \quad \forall p \quad (2)$$

Cette deuxième contrainte présente la capacité de la ligne en temps régulier:

- Les changements de type de produit et de gout sont effectués en temps régulier c'.à.d

Durant le temps de production en temps régulier soit le temps des changements de type de produit et soit de gout doivent être tranchés de la capacité de ligne en temps régulier en plus de la considération des micros arrêts et des macros-arrêts (pannes).

Capacité de la ligne en temps supplémentaire

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 QPS_{jkp} * T_j \leq Capls_p * Xls_p \quad \forall p \quad (3)$$

Capacité de la ligne dans les périodes saisonniers

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 QPMS_{jkp} * T_j \leq Caplos_p * Xlos_p \quad \forall p \quad (4)$$

Les contraintes 3 et 4 assurent que le temps de production en temps supplémentaire ou en périodes saisonniers ne doit être pas dépassé la capacité de la ligne dédiée (sachant que la capacité de la ligne en temps supplémentaire est différente que la capacité dans les périodes saisonniers)

Contrainte de préparation de la ligne pour un type de produit j :

$$\sum_{k=1}^6 QP_{jkp} \leq M * X1_{jp} \quad \forall j \quad \forall p \quad (5)$$

La cinquième contrainte montre qu'on doit préparer la ligne en changeant le type de produit voulu avant la production. Avec M est un grand nombre.

Contrainte de préparation de la ligne pour un type de produit j et pour un arôme k

$$QP_{jkp} \leq M * X2_{jkp} \quad \forall j \quad \forall k \quad \forall p \quad (6)$$

La sixième contrainte montre qu'on doit préparer la ligne en changeant le gout de produit voulu avant la production.

$$X2_{jkp} \leq X1_{jp} \quad \forall j \quad \forall p \quad \forall k \quad (7)$$

La contrainte 7 exprime que le changement de type de produit doit être exécuté avant le changement de gout.

Capacité de l'ouvrier :

Capacité de la main d'ouvre en heure régulière

$$N * \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 QPR_{jkp} * T_j + N * \sum_{j=1}^2 X1_{jp} * TC_j + N * \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 X2_{jkp} * TCG_{jk} + N * MAR_p + N * PANN_p \leq WNhr_p \quad \forall p \quad (8)$$

La contrainte 8 montre que la charge ouvrière régulière par période occupante de la ligne équivalente en heure d'hommes inclut le temps de production en temps régulier plus le temps de changement de type de produit et le temps de changement de gout ainsi que le temps de pannes et micro arrêts.

Capacité de la main d'ouvre en heure supplémentaire

$$N * \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 QPS * T_j - WNhs_p = 0 \quad \forall p \quad (9)$$

Le temps de production en temps supplémentaire par unité de produit par chaque ouvrier doit être égal à la capacité de la charge ouvrière supplémentaire par période occupante la ligne, ce temps est calculé en équivalente en heure d'hommes.

Capacité de la main d'ouvre en période saisonnière :

$$N * \sum_j \sum_k QPMS_{jkp} * T_j - WNhos_p = 0 \quad \forall p \quad (10)$$

$$XLS_p + XLOS_p \leq 1 \quad \forall p \quad (11)$$

La contrainte 10 vérifie que le temps de production en période saisonnière par unité de produit par chaque ouvrier doit être égal à la capacité de la charge ouvrière saisonnière par période occupante de la ligne en équivalent en heure d'hommes.

La contrainte 11 assure que l'entreprise augmente sa capacité de production dans chaque période avec une des deux stratégies (heures supplémentaires ou heures supplémentaires en recrutant de la main d'œuvre saisonnière)

Contraintes de conservation des quantités produites

$$QP_{jkp} - QPR_{jkp} - QPS_{jkp} - QPMS_{jkp} = 0 \quad \forall j \quad \forall k \quad \forall p \quad (12)$$

Dans chaque période, la somme des quantités produites dans le temps régulier, le temps supplémentaire et par la main d'œuvre saisonnière doit être égale la quantité produite totale pendant cette période p.

Satisfaction de la demande :

$$\sum_{l \geq p-s}^{l \leq p} QP2_{jklp} = demande_{jkp} \quad \forall j \quad \forall k \quad \forall p \quad (13)$$

Pour donner plus de flexibilité à la gestion de stock, on pose la condition que la demande satisfaite par produit j et par arôme k à la période p peut être alimentée même pour par certaine quantité produite en période l avant p de s période.

$$\sum_{p \geq l}^{l \leq p+s} QP2_{jklp} - QP_{jkl} = 0 \quad \forall j \quad \forall k \quad \forall l \quad (14)$$

Contraintes complémentaires de la condition 13, tel que le produit j d'arôme k fabriqué à la période l peut être vendu jusqu'à la période p qui peut être avancée jusqu'à s périodes par rapport à l

$$\sum_p QP_{jkp} = \sum_p demande_{jkp} \quad \forall j \quad \forall k \quad (15)$$

Dans chaque période la quantité produite totale doit satisfaire la demande

➤ 2^{ème} Approche : La ligne RB100 :

Remarque

Pour la ligne RB100 et puisqu'il existe un seul produit, le même modèle précédent sera validé mais sans que l'indice de produit j soit répéter.

3.2.2.2. Modèle 02: Multi Ligne, Multi Période, MO fixe et MO saisonnière

Les indices :

i: indice de la ligne de la production $i \in I$

j: indice du type de produit $j \in J$

k: indice de l'arôme $k \in K$

p : indice de la période $p \in P$

Les paramètres :

T_{ij} : Temps de production de produit j dans la ligne de production i

TC_{ij} : le temps de changement de format de produit j dans la ligne i

TCG_{ijk} : le temps de changement de l'arôme k de produit j dans la ligne i

MAR_{ip} :Temps de micro-arrêts dans la ligne i dans la période p

$PANN_{ip}$: Temps des pannes dans la ligne i dans la période p

$Capl_i$: capacité de la ligne i en temps régulier de la période p

$Capls_i$: capacité de la ligne i en temps supplémentaire de la période p

$Caplos_i$: capacité de la ligne i hors la production régulière et supplémentaire de la période p

CHr_p : coût d'une heure homme en temps régulier

CHs_p : coût d'une heure homme en temps supplémentaire

$CHos_p$: Coût d'une heure homme en temps de production saisonnière

CP_j : coût de production d'un produit j

CV_j : coût de vente de produit j

$Demande_{jkp}$: la demande de l'arôme k conditionnée en type j dans la période p

N_{ij} = nombre d'ouvrier occupant chaque ligne i pour produire le produit j

NJ_p :le nombre de jours de travaille dans la période p

$WNhr_{ip}$: charge ouvrière régulière par période occupante de la ligne i équivalente en heure d'homme

Les variables de décision :

QP_{ijkp} : la quantité produite dans la ligne i du produit j d'arôme k dans la période p

$QP2_{ijkpl}$: la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p et livrée dans la période l

$QP3_{jkp}$: la quantité produite d'un produit j d'arôme k dans la période p

QPR_{ijkp} : la quantité produite dans la ligne i du produit j d'arôme k dans la période p en heure régulier

QPS_{ijkp} : la quantité produite dans la ligne i du produit j d'arôme k dans la période p en heure supplémentaire

$QPMS_{ijkp}$: la quantité produite dans la ligne i du produit j d'arôme k dans la période p liée à la main d'ouvre saisonnière

$WNhsi_p$: charge ouvrière supplémentaire par ligne par période équivalente en heure d'homme

$WNhosi_p$: charge ouvrière saisonnière par ligne par période équivalente en heure d'homme

$WNhrri_p$: : charge ouvrière régulière réelle par ligne par période occupante de la ligne i équivalente en heure d'homme

$WNhs_p$: charge ouvrière supplémentaire totale par période équivalente en heure d'homme

$WNhos_p$: charge ouvrière saisonnière totale par période équivalente en heure d'homme

$WNhrr_p$: : charge ouvrière régulière réelle totale par période occupante de la ligne i équivalente en heure d'homme

NO : nombre d'ouvrier réel dans la période p

$$X1_{ijkp} = \begin{cases} 1 & \text{si une action d'arrangement de la ligne } i \text{ pour passer à la production} \\ & \text{du produit } j \text{ dans } p \text{ est effectuée} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$X2_{ijkp} = \begin{cases} 1 & \text{si une action d'arrangement de la ligne } i \text{ pour passer à la production} \\ & \text{de l'arôme } k \text{ dans le produit } j \text{ dans } p \text{ est effectuée} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$Xls_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{si la main d'ouvre régulière fait des heures supplémentaires dans la ligne } i \\ & \text{dans la période } p \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$Xlos_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{si une main d'ouvre saisonnière est opérationnelle dans la ligne } i \\ & \text{dans la période } p \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

La fonction objectif :

$$\begin{aligned} MAX Z = & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 \sum_{p=1}^{12} (CV_j - CP_j) QP_{ijkp} - \sum_{p=1}^{12} WNhr_p * CHR_p - \sum_{p=1}^{12} WNhs_p * CHs_p - \\ & \sum_{p=1}^{12} WNhos_p * CHos_p - \sum_{i=1}^3 \sum_{p=1}^{12} Xls_{ip} + Xlos_{ip} - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^6 \sum_{p=1}^{12} \sum_{l \geq p-s} 0.1 * QP2_{jklp} \end{aligned} \quad (1)$$

Dans notre fonction objectif en va maximiser le profit en minimisant l'ensembles des coûts : le coût de production, le coût de la main d'oeuvre en temps regulier, le coût de la main d'oeuvre en temps supplémentaire, et le coût des ouvriers saisonniers, ainsi que le coût de

stockage. Cette minimisation s'effectue sur toutes les périodes p de l'horizon de planification étudié.

Les contraintes :

Capacité des lignes en temps régulier:

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{p=1}^{12} QPR_{ijkp} * T_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 X1_{ijp} * TC_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 X2_{ijkp} * TCG_{ijk} \leq$$

$$Capl_{ip} - \sum_{i=1}^3 MAR_i - \sum_{i=1}^3 PANN_i \quad \forall p \quad (2)$$

La deuxième contrainte présente la capacité de la ligne en temps régulier:

Elle incluse les changements de type de produit et de gout supposés effectués en temps régulier, la somme de temps de production en temps régulier par ligne plus le temps des changements de type de produit et de gout. La totalité de tous ces temps doit être inférieure ou égale la capacité des lignes en temps régulier en considérant les micros arrêts et les pannes de chaque ligne par chaque période.

Capacité de la ligne en temps supplémentaire

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 QPS_{ijkp} * T_{ij} \leq Capls_{ip} * Xls_{ip} \quad \forall i \quad \forall p \quad (3)$$

Capacité de la ligne en période saisonniers :

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 QPMS_{ijkp} * T_{ij} \leq Caplos_{ip} * Xlos_{ip} \quad \forall i \quad \forall p \quad (4)$$

Les contraintes 3 et 4 assurent que la somme de temps de production des lignes en temps supplémentaire ou en périodes saisonniers ne doit dépasser la capacité des lignes pour chaque période (sachant que la capacité des lignes en temps supplémentaire est différente que la capacité dans les périodes saisonniers)

Contrainte de préparation de la ligne i pour un type de produit j :

$$\sum_{k=1}^6 QP_{ijkp} \leq M * X1_{ijp} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall p \quad (5)$$

La cinquième contrainte montre qu'on doit préparer la ligne en changeant le type de produit voulu avant la production pour tous produit j à chaque période p et pour chaque ligne i

Contrainte de préparation de la ligne pour un type de produit j et pour une arôme k

$$QP_{ijkp} \leq M * X2_{ijkp} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall k \quad \forall p \quad (6)$$

$$X2_{ijkp} \leq X1_{ijp} \quad \forall i \quad \forall j \quad \forall p \quad \forall k \quad (7)$$

La sixième contrainte assure qu'on doit préparer la ligne en changeant le gout de produit voulu avant la production de ce goût

La contrainte 7 exprime que le changement de type de produit j doit être exécuté avant le changement de gout j dans ce produit k

Capacité de l'ouvrier :

Capacité de la main d'oeuvre en temps réguliers

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * QPR_{ijkp} * T_{uv} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 N_{ij} * X1_{ijp} * TC_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * X2_{ijkp} * TCG_{ijk} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 N_{ij} * MAR_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 N_{ij} * PANN_i - WNhr_p \leq 0 \quad \forall p \quad (8)$$

La contrainte 8 montre que la charge ouvrière régulière équivalente en heure d'hommes par période p occupant est répartie sur l'ensemble des lignes (ceci inclut le temps de production en temps régulier plus le temps de changement de type de produit et le temps de changement de gout ainsi que le temps de pannes et micro arrêts).

$$WNhrr_p = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * QPR_{ijkp} * T_{uv} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 N_{ij} * X1_{ijp} * TC_{ij} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * X2_{ijkp} * TCG_{ijk} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 N_{ij} * MAR_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 N_{ij} * PANN_i \quad \forall p \quad (9)$$

La charge ouvrière régulière réelle par période occupante des lignes équivalente en heure d'hommes inclut la somme de temps de production en temps régulier des lignes plus la somme de temps de changement de type de produit dans les lignes et la somme de temps de changement de gout dans les lignes ainsi que le temps de pannes et micro arrêts.

$$WNhrr_{ip} = \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * QPR_{ijkp} * T_{uv} + \sum_{j=1}^5 N_{ij} * X1_{ijp} * TC_{ij} + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * X2_{ijkp} * TCG_{ijk} + \sum_{j=1}^5 N_{ij} * MAR_i + \sum_{j=1}^5 N_{ij} * PANN_i \quad \forall p \quad \forall i \quad (10)$$

La charge ouvrière régulière réelle par période occupante chaque ligne équivalente en heure d'hommes inclut le temps de production en temps régulier plus le temps de changement de type de produit et le temps de changement de gout ainsi que le temps de pannes et micro arrêts.

$$NO_p = WNhrr_p / (NJ_p * 8) \quad \forall p \quad (11)$$

La contrainte 11 assure que le nombre d'ouvriers nécessaire pour le fonctionnement des lignes de chaque période égale à la charge ouvrière régulière réelle divisée par le nombre de jour de travaille puis divisé par les heures de travaille de chaque jour.

Capacité de la main d'ouvre en heure supplémentaire

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * QPS_{ijkp} * T_{ij} = WNhsi_{ip} \quad \forall i \quad \forall p \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^3 WNhsi_{ip} = WNhs_p \quad \forall p \quad (13)$$

La contrainte 12 assure que la somme de temps de production en temps supplémentaire de chaque ligne i est équivalente à la charge ouvrière supplémentaire équivalente en heure d'hommes par période p.

La contrainte 13 permet de calculer la somme des charges ouvrière supplémentaire équivalente en heure d'homme en temps régulier par période p

Capacité de la main d'ouvre en heure saisonnière

$$\sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^6 N_{ij} * QPMS_{ijkp} * T_{ij} = WNhosi_p \quad \forall i \quad \forall p \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^3 WNhosi_{ip} = WNhos_p \quad \forall p \quad (15)$$

La contrainte 14: La somme de temps de production en périodes saisonnières des lignes par unité de produit par chaque ouvrier doit être égale à la capacité de la charge ouvrière en périodes saisonnières par période occupante de la ligne équivalente en heure d'hommes.

La contrainte 15: la somme des charges ouvrière en périodes saisonnières des lignes égale la charge ouvrière globale en périodes saisonnières

$$XLS_{ip} + XLOS_{ip} \leq 1 \quad \forall i \quad \forall p \quad (16)$$

Cette contrainte assure que l'entreprise augmente sa capacité de production dans chaque période avec une des deux stratégies (Heures supplémentaires ou main d'œuvre saisonnière)

Contraintes de conservation des quantités produites dans chaque ligne

$$QP_{ijkp} - QPR_{ijkp} - QPS_{ijkp} - QPMS_{ijkp} = 0 \quad \forall i \forall j \forall k \forall p \quad (17)$$

Dans chaque période, la somme des quantités produites dans le temps régulier, le temps supplémentaire et par la main d'œuvre saisonnière doit être égale la quantité produite totale

Les contraintes de la satisfaction de la demande :

$$QP3_{jkp} = \sum_{i=1}^3 QP_{ijkp} \quad \forall j \forall k \forall p \quad (18)$$

La contrainte 18 assure que la quantité produit pour chaque produit j et pour chaque arôme k dans chaque période p est égale à la somme de quantités produites dans chaque ligne

$$\sum_{l \geq p}^{l \leq p+s} QP2_{jkpl} - QP3_{jkp} = 0 \quad \forall j \forall k \forall p \quad (19)$$

Pour donner plus de flexibilité à la gestion de stock, on pose la condition que la demande satisfaite par produit j et par arôme k à la période p peut être alimentée même pour par certaine quantité produite en période l avant p de s période. C'est-à-dire aussi, les dates de péremption sont évitées

$$\sum_{p \geq l-s}^{p \leq l} QP2_{jkpl} = \text{demande}_{jkl} \quad \forall j \forall k \forall l \quad (20)$$

Contraintes complémentaires de la condition 19, tel que le produit j d'arôme k fabriqué à la période l peut être vendu jusqu'à la période p qui peut être avancée jusqu'à s périodes par rapport à l

$$\sum_{p=1}^{12} QP3_{ijkp} = \sum_{p=1}^{12} Dem_{ijkp} \quad \forall j \forall k \quad (21)$$

La contrainte 21 assure l'égalité entre la production et la demande sur tout l'horizon de la planification pour chaque produit et pour chaque arôme.

4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini notre problématique qui traite le problème de manque de la planification et l'incapacité de l'entreprise à satisfaire ces demandes à cause de l'instabilité de service commerciale et la vétusté de ces machines.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons proposé comme solution, l'adaptation de la planification de production, en mettant l'accent sur les prévisions de vente et la planification agrégée. Dans la partie de l'adaptation de la planification agrégée, nous avons présenté notre modèle mathématique. Dans le chapitre suivant nous interprétons les résultats des prévisions et l'optimisation des paramètres des gestions de la production, le stockage et la main d'œuvre par rapport au taux de panne, la capacité des lignes et les demandes prévisionnelles. Les résultats d'optimisation sont obtenus par le solveur commercial LINGO10.

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons plusieurs résultats issus de l'adaptation des deux approches de prévision et de planification agrégée au niveau de différentes lignes de production de boisson chez l'entreprise l'Exquise. Après l'analyse des prévisions des demandes de chaque produit et vu la vétusté de toutes les lignes, nous avons exploité différents résultats par rapport aux plusieurs scénarios de taux de panne. Notons que la main d'œuvre est une ressource assez critique et qui influence sur le coût de profit, nous mettons l'accent sur la satisfaction de la demande prévisionnelle par rapport au volume horaire de travail en temps régulier et non régulier (supplémentaire et saisonnier). Aussi pour voir l'amélioration du coût global de profit, une comparaison entre la planification agrégée mono-ligne et intégrale multi-lignes est investiguée.

2. Les résultats :

2.1. Le plan prévisionnel :

Les prévisions obtenues sont réalisées par l'adaptation de la méthode HOLT WINTERS sous le logiciel MATLAB. Par rapport aux historiques des ventes présentées dans le chapitre IV, respectivement, les résultats prévisionnels des demandes pour chaque produit sont présentés ci-dessous :

2.1.1. La ligne PET :

- Boisson Gazeuse de 1L

Tableau V.1 : les prévisions des ventes du Boisson Gazeuse en PET 1L :

Années Mois	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
1	157 134	111,08	84 840	135216,06	87 372	57146,55	81406,52
2	67 914	164333,62	122 316	88727,69	133 590	91375,69	85136,92
3	132 366	77110,17	99 198	138877,78	117 222	151678,19	96664,94
4	221 292	123419,18	185 826	92493,32	112 872	109298,91	90131,5
5	156 234	215668,62	196 746	181104,03	197 544	110004,25	87841,73
6	426 828	169322,46	176 220	213228,05	254 034	214092,89	95201,14
7	138 498	472850,62	245 496	195221,61	269 724	281425,66	105467,15
8	435 792	136873,39	179 064	242615,32	225 630	266558,91	104230,29
9	339 576	397965,18	1 092	163521,88	167 376	206045,82	95183,94
10	303 546	290509,18	279 522	935,17	205 740	143191,6	81431,1
11	104 742	263720,8	77 364	242848,81	111 492	178747,21	70747,96
12	134 970	120318,71	57 042	88869,44	81 258	128072,47	81269,56

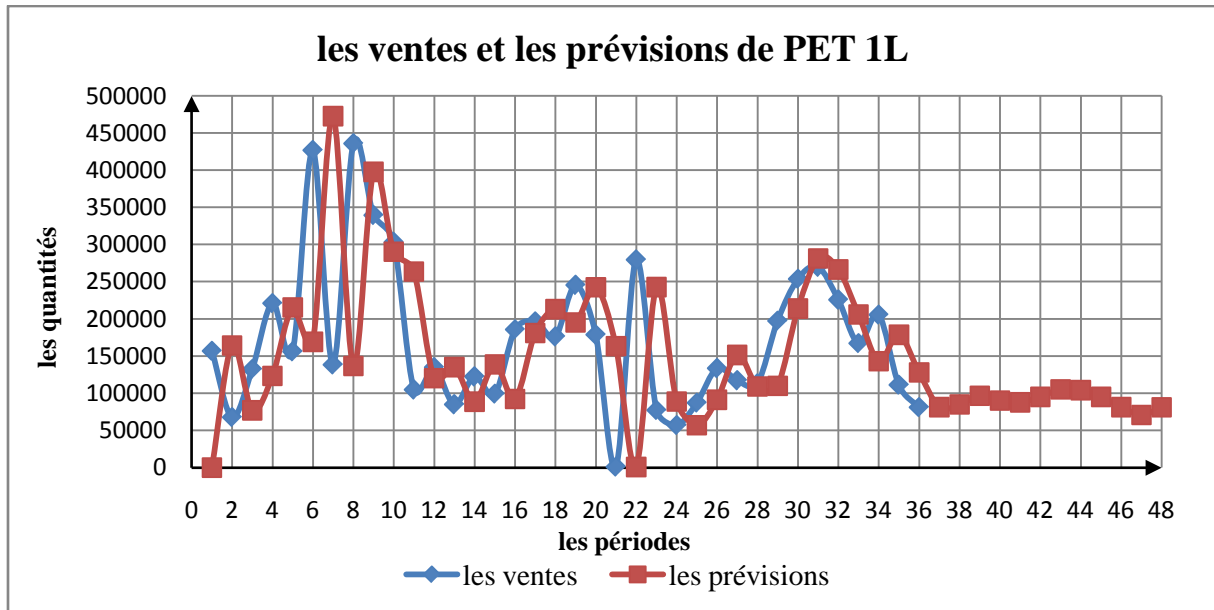


Figure V.1 : les ventes et les prévisions de Boissons Gazeuses en PET 1 L

- **Boisson gazeuse de 2L :**

Tableau V.2 : les prévisions des ventes du Boisson Gazeuse en PET 2L :

Années Mois	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
1	181 776	111,08	137 010	115464,26	203 454	233782,73	179053,52
2	145 392	190104,52	183 288	143287,7	84 234	212775,63	187257,32
3	240 540	165078,09	131 448	208104,91	191 166	95639,77	212611,65
4	304 248	224280,66	310 554	122563,24	140 874	178244,32	198240,25
5	230 058	296516,18	168 552	302661,91	234 828	137294,55	193202,76
6	362 418	249330,51	339 198	182672,3	200 688	254500,08	209388
7	483 786	401495,82	135 852	375772,2	256 656	222327,8	231965,84
8	396 054	478108	269 118	134258,45	438 882	253644,31	229244
9	276 030	361676,55	494 196	245758,94	210 222	400786,96	209346,12
10	406 164	236145,4	159 636	422787,03	156 540	179846,47	179097,15
11	170 316	352875,05	62 352	138692,17	103 422	136002,38	155599,97
12	115 254	195643,94	233 358	71625,07	178 728	118802,42	178739,56

Clicours.COM

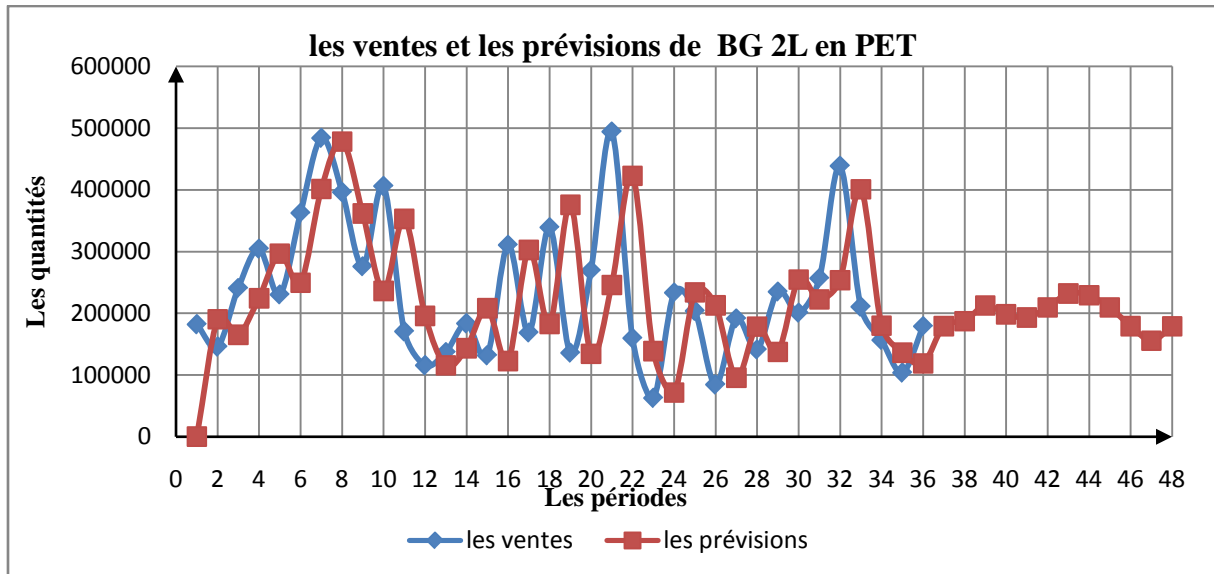


Figure V.2 : les ventes et les prévisions de BG en PET 2L

2.1.2. La ligne RB 100 :

Tableau V.3 : les prévisions des ventes du Boisson Gazeuse en RB 1L :

Années Mois	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
1	435 948	111,08	435 144	462960,15	271 320	351121,42	207833,69
2	0	455920,63	392 760	455079,8	243 252	283750,7	217355,96
3	360	137,39	475 992	445937,79	376 524	276187,57	246785,41
4	33 876	336,73	536 052	443816,2	342 456	351072,19	230103,88
5	54 120	33016,04	511 092	522428,59	371 568	333753,08	224256,54
6	123 792	58654,62	551 988	553906,02	257 340	402694,44	243043,07
7	246 252	137140,73	400 620	611505,6	205 380	285088,12	269249,67
8	572 532	243362,45	445 464	395918,3	95 988	202970,25	266090,14
9	522 372	522835,77	573 048	406797,62	450 888	87657,1	242993,91
10	632 100	446891,67	426 828	490245,13	262 152	385736,91	207882,94
11	536 820	549167,65	351 216	370827,88	267 324	227757,8	180608,99
12	462 120	616649,22	350 484	403444,82	207 456	307077,59	207467,56

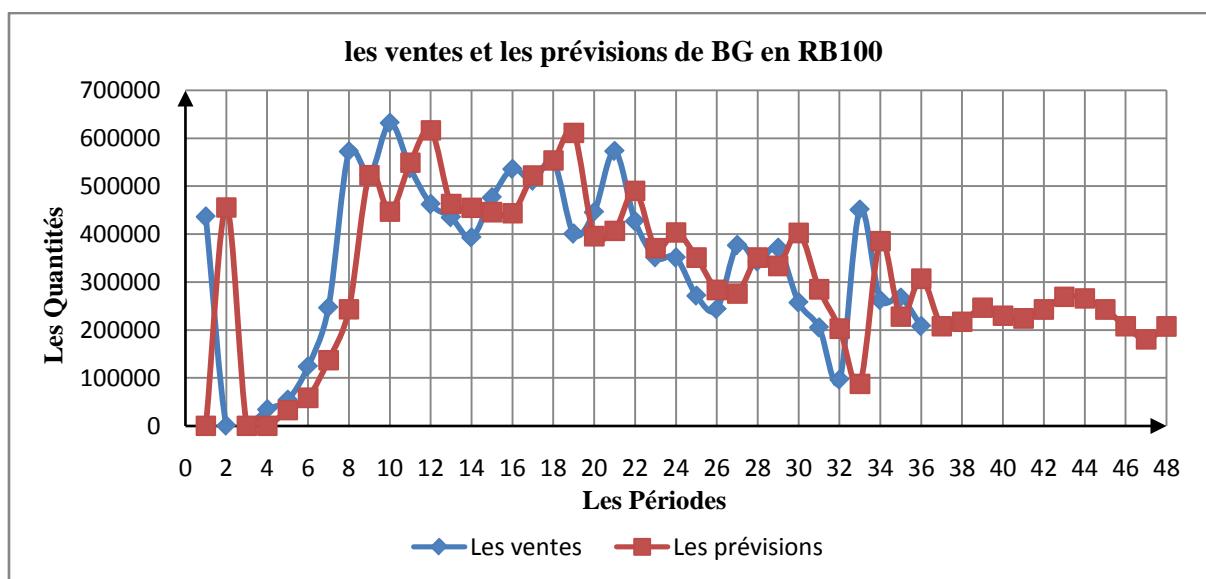


Figure V.3 : les ventes et les prévisions de Boisson gazeuse en RB100

2.1.3. La ligne RB25 :

- Boisson gazeuse de 25 CL

Tableau V.4 : les prévisions des ventes du Boisson Gazeuse en RB 25CL :

Années Mois	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
1	568 056	111,08	483 816	414728,72	388 080	440094,7	369478,7
2	494 904	594080,75	441 864	505981,55	356 280	405859,7	386406,24
3	445 248	561911,29	497 904	501690,09	540 864	404518,68	438723,78
4	650 856	415150,48	692 760	464246,95	574 320	504302,87	409067,29
5	607 656	634314,69	548 808	675153,65	614 640	559723,95	398671,36
6	708 552	658558,94	619 224	594781,39	336 576	666127,97	432068,18
7	282 504	784950,62	204 264	685991,11	344 208	372867,49	478655,81
8	673 392	279188,88	751 944	201867,35	828 096	340168,53	473038,04
9	726 096	614940,85	732 816	686674,31	484 440	756216,11	431978,16
10	582 216	621178,13	575 976	626927,11	524 736	414440,74	369559,49
11	489 912	505828,56	503184	500407,27	469 872	455890,09	321073,15
12	413 976	562765,72	439 296	578011,35	368 808	539745,66	368819,56

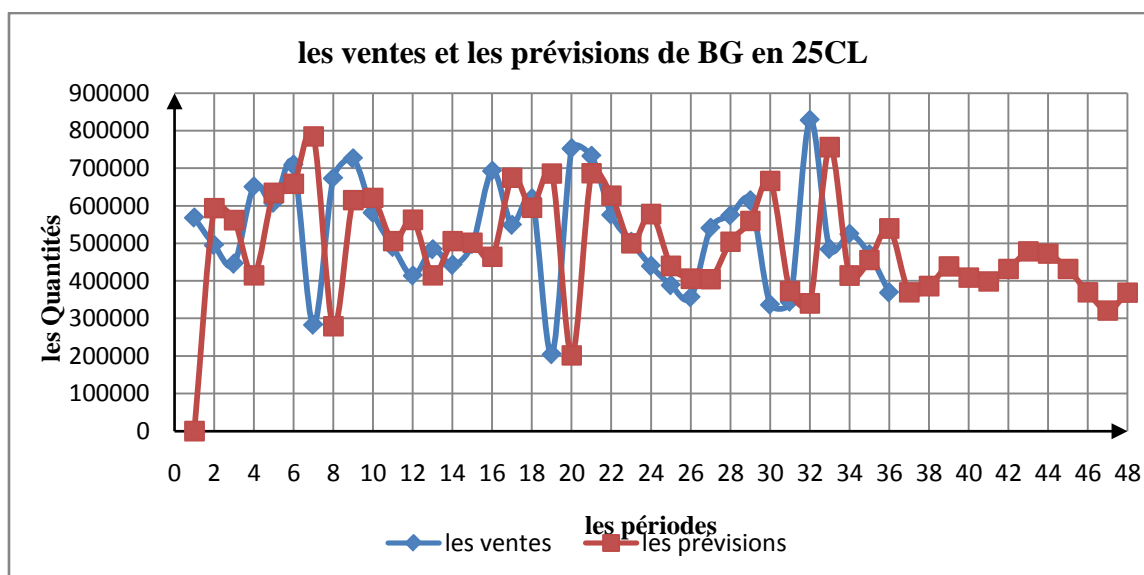


Figure V.4 : les ventes et les prévisions de boisson gazeuses en 25 CL

- Jus en RB25 :

Tableau V.5 : les prévisions des ventes du Jus en 25 CL :

Années Mois	2013	2013	2014	2014	2015	2015	2016
1	59 472	111,08	14 472	25246,73	16 104	18129,83	18129,83
2	24 816	62197,54	19 416	15136	16 440	16842,76	18961,4
3	30 936	28177,04	23 520	22045,92	10 680	18666,99	21529,77
4	50 232	28845,81	39 456	21931,13	18 600	9959,1	20075,43
5	34 416	48956,33	57 360	38454,22	39 048	18128,3	19566,23
6	46 536	37300,07	41 304	62166,03	4 776	42320,08	21206,37
7	6 576	51554,85	26 064	45758,72	13 104	5292,21	23494,13
8	23 640	6500,04	24 504	25759,27	1 392	12951,41	23219,57
9	46 104	21589,11	20 928	22378,11	0	1272,3	21205,17
10	31 752	39443,07	26 664	17904,93	0	17904,93	18142,05
11	46 992	27586,89	21 552	23166,45	0	23166,45	15762,6
12	25 200	53980,95	18 096	24757,87	0	24757,87	18107,56

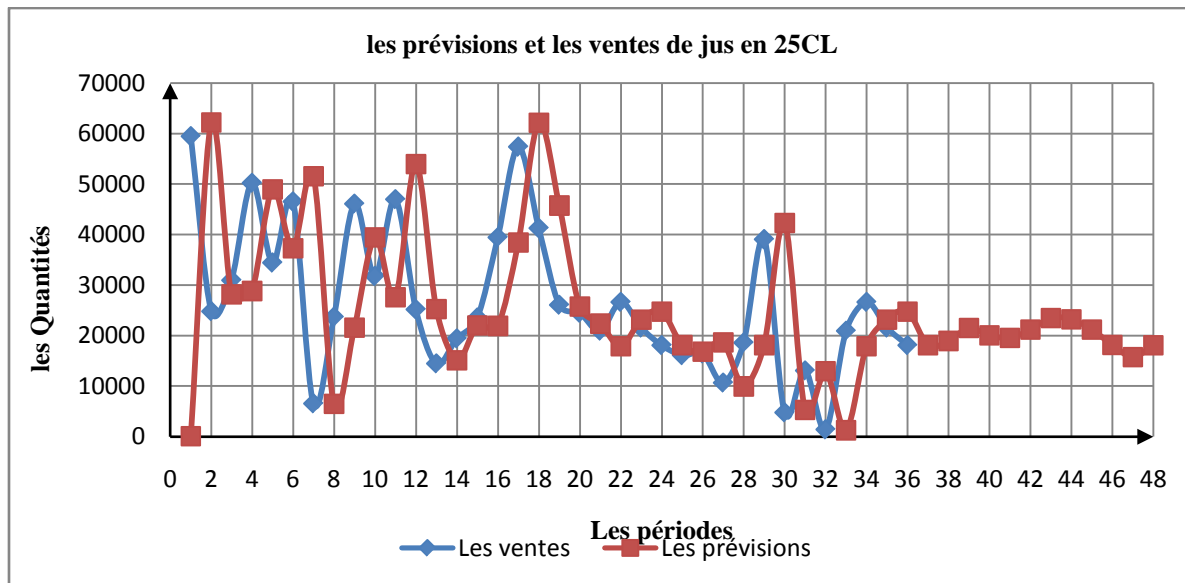


Figure V.5: les ventes et les prévisions de jus en 25 CL

Conclusions : à partir de l'analyse de toutes les courbes de prévisions des demandes, nous remarquons que les prévisions de ventes marchent en concordance avec les ventes réelles durant toutes les périodes de l'année 2013 jusqu' 'à 2015. Aussi le pic de vente est signalé au mois d'Aout des années indiquées, mais malheureusement les prévisions sont en baisse durant l'année 2016 par cause la vétusté des machines et le manque de management et Marketing. Ce nous remarquons aussi, c'est le décalage au niveau des données des ventes réelles et les prévisions trouvées par le modèle de Holt-Winter's par une période d'environ un mois. En effet ceci résulte de l'ignorance totale de l'entreprise en niveau de l'organisation de leurs demandes par rapport à la dynamique des demandes occasionnelles qui dépendent de l'année Hidjr. Plus précisément et pour arriver à un meilleur résultat de prévision, il vaut mieux travailler avec 14 périodes au lieu de 12 en ajoutant la période de ramadhan-fête d'elfitr et la période de fête de sacrifice du mouton. Mais pour notre étude, nous soulignons que nous nous ne pouvons pas avoir meilleurs résultats que celles calculées, à cause de la mauvaise classification des historiques.

2.2. Planification agrégée :

2.2.1. Les résultats de Modèle 01 : Mono Ligne, Multi période, Main d'œuvre Fixe et Main d'œuvre Saisonnière

D'une manière séquentielle, nous avons implémenté le modèle mono-ligne sur le solveur LINGO.10. Respectivement, les résultats décrivant les plans agrégés de production des cinq produits à savoir : PET de 1L et 2L (fabriqué dans la première ligne), RB100 (fabriqué dans deuxième ligne) et RB25 (ligne qui produit deux types de produits qui sont le jus et la boisson gazeuse en bouteille de verre de 25CL).

Les simulations des résultats de la période de Janvier à Décembre, pour chaque produit et pour chaque ligne sont présentées ci-dessous. Concernant les notations indiquées dans les tableaux et les diagrammes respectivement : **WNHRR : volume horaire de la main d'oeuvre**

en temps régulier, WNHS : volume horaire de la main d'œuvre en temps supplémentaire et WNHOS : volume horaire de la main d'œuvre en temps additionnel saisonnier.

2.2.1.1. La ligne PET :

- **Le premier Cas (Le cas idéal) :** la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale zéro pourcent (0%) de la capacité de la ligne en temps régulier

Tableau V.6 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne PET dans le cas idéal de modèle01

Les périodes	Micros arrêts	Les Pannes	WNHR	WNHRR	WNHS	WNHOS
1	0	0	1213,1	1213	140	0
2	0	0	1213,1	1213	140	0
3	0	0	1213,1	1213	140	0
4	0	0	1213,1	1213	0	779,3198
5	0	0	1213,1	1213	140	0
6	0	0	1213,1	1213	140	0
7	0	0	1213,1	1213	140	0
8	0	0	1213,1	1213	140	0
9	0	0	1213,1	1213	140	0
10	0	0	1213,1	1213	34,70955	0
11	0	0	1213,1	1174,828	0	0
12	0	0	1213,1	1162,018	0	0

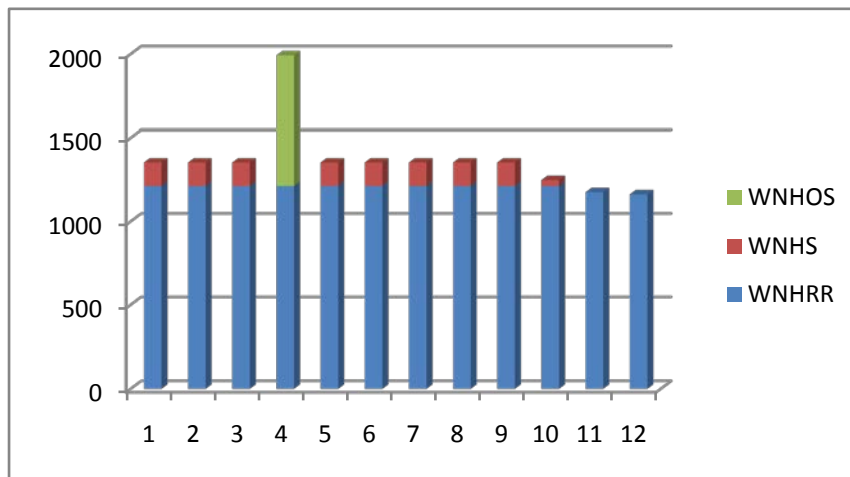


Figure V.6 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne PET dans le cas idéal de modèle01

Les résultats du diagramme V.6 montrent, l'utilisation de la capacité proposée par le modèle pour le scénario considéré (Janvier à Décembre).

Nous remarquons, que l'entreprise travail en pleine capacité pour satisfaire les demandes. En plus, elle doit augmenter sa capacité par des heures supplémentaires dans les périodes de

Janvier à Mars. Cependant, l'option des heures supplémentaires semble insuffisante aux niveaux de la demande en mois d'Avril, d'où l'entreprise doit augmenter sa capacité par voie de recrutement des ouvriers saisonniers. Par contre dans les périodes de Mai à Octobre, le plan de planification de production, suggèrent jute l'utilisation des heures supplémentaires.

Par ailleurs, pour affiner autant de plus les résultats, le Tableau V.7 et le diagramme V.7 résume les quantités produite et stockées du produit BG de 1L PET. Vu que les demandes sont fluctuantes dans le temps, le stockage des produits finis commence du mois Février jusqu'à le mois d'Avout. Et ceci à cause des prévisions prévu en hausse à partir de mois de Mars jusqu'à Septembre.

Tableau V.7 : les quantités produites et stockées de BG de 1L PET de modèle01 (unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	81406,518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	85136,918	33832,731	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	62832,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	90131,505	55354,263	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	32487,477	40881,154	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	54319,987	22573,732	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	82893,418	74179,074	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	30051,21	4759,197	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	90424,744	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81431,105	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70747,954	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81269,554

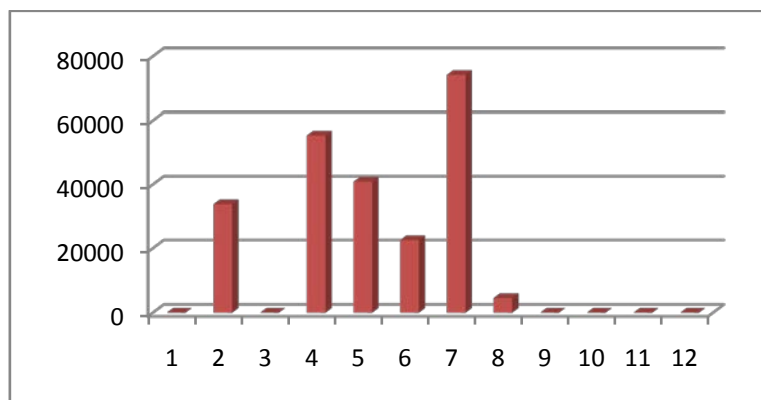


Figure V.7 : les quantités stockées de BG de 1L PET dans le cas idéal de modèle 01

De même, le Tableau V.8 et le diagramme V.8 illustrent en détail les quantités produite et stockées du produit BG de 2L PET. Aussi, les quantités sont stockées à partir de mois de

Janvier jusqu'à le mois de novembre à cause des prévisions prévu en augmentation du mois
 Février jusqu'à le mois de Septembre.

**Tableau V.8 : les quantités produites et stockées de BG de 2L dans le cas idéal de modèle 01 (unité :
 bouteille)** (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se
 refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	179053,516	22627,786	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	164629,54	1838,094	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	210773,568	8320,292	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	189919,973	88680,31	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	104522,448	104694	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	104694	101217,84	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	130747,992	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	229244	16118,98	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	193227,14	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179097,148	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155 599,97	17 873,96
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160 865,59

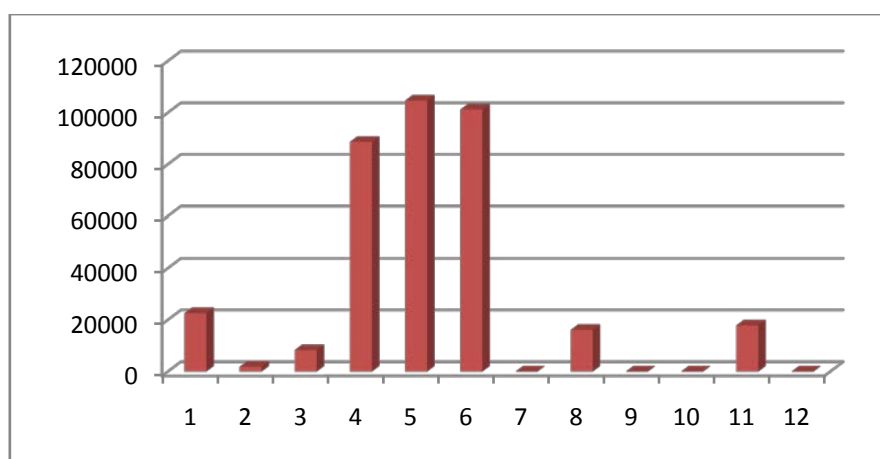


Figure V.8 : les quantités stockées de BG de 2L PET dans le cas idéal de modèle01

- **Le deuxième cas considération de panne avec un taux de 15 %:** la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale atteint 15% de la capacité de ligne en temps régulier.

Respectivement les volumes de main d’heure en différentes configuration, les quantités en stock et produites pour chaque mois et pour chaque produit PET 1L et PET 2L sont groupées et détaillées dans les tableaux et les figures ci-dessous :

Tableau V.9: le volume horaire par période de la main d’œuvre de la ligne PET dans le cas de 15% de modèle 01

période	MAR	PANN	WNHOS	WNHS	WNHR	WNHRR
1	12,131	13,864	347,4793	0	1213,1	1213,1
2	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
3	12,131	13,864	1213,1	0	1213,1	1213,1
4	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
5	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
6	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
7	12,131	13,864	1213,1	0	1213,1	1213,1
8	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
9	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
10	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
11	12,131	13,864	0	140	1213,1	1213,1
12	12,131	13,864	0	134,5758	1213,1	1213,1

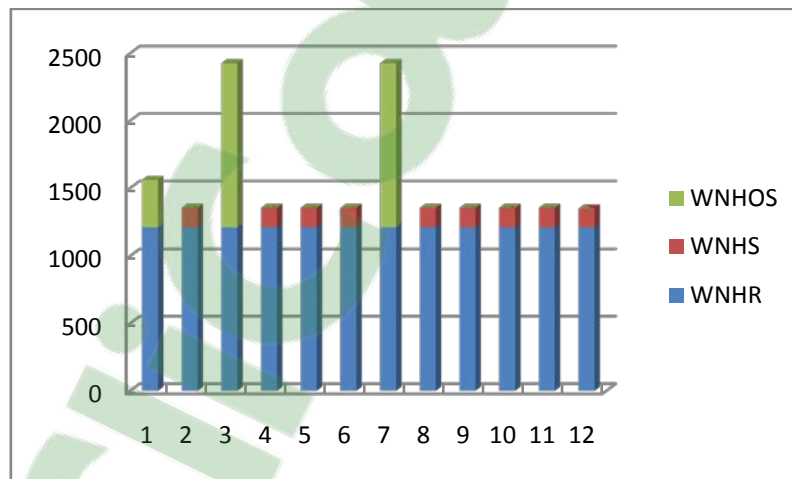


Figure V.9 : le volume horaire par période de la main d’œuvre de la ligne PET dans le cas de 15% de modèle01

Nous constatons, que pour une satisfaction de la demande à 100%, l’entreprise doit travailler en pleine capacité et avec l’option d’utilisation des heures supplémentaires. Sauf que pour les mois de Janvier, Mars et Juillet, il est vaut mieux recruter des équipes de travail.

Par ailleurs, pour plus de précision les indicatifs en bas montrent les quantités produites et en stockés pour le PET 1L et le PET 2L

Tableau V.10 : les quantités produites et stockées de BG de 1L EPT dans le cas de 15% de modèle01 (unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	81406,518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	85136,918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	96664,941	40559,18	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	49572,335	13176,26	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	74665,48	57670,197	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	37530,944	5273,358	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	100193,79	15634,54	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	88595,745	36408,5	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	58775,439	52986,225	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65144,88	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70747,954	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81269,554

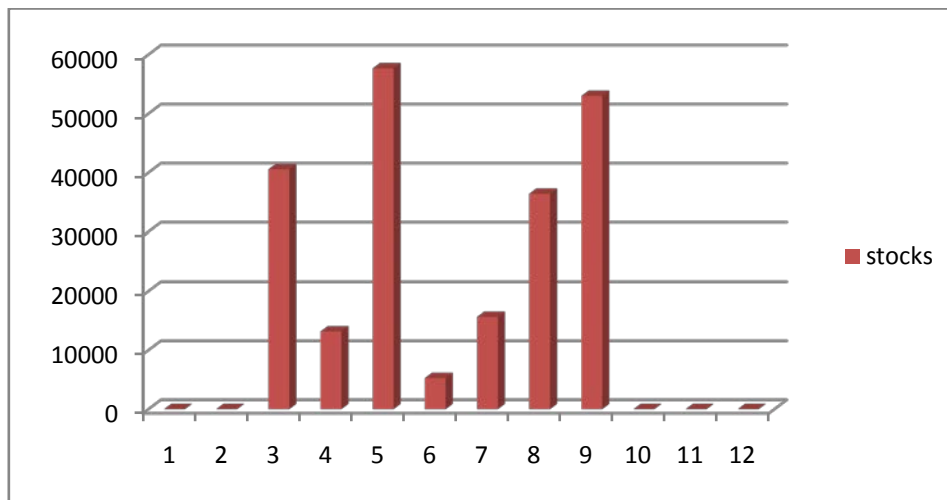


Figure V.10 : les quantités stockées de BG de 1L dans le cas de 15% de modèle01

On remarque que par l'augmentation de taux de pannes le nombre de produits de en stock PET 1L augmente avec une grande proportion à partir du mois Mars jusqu'à le mois de Septembre.

Tableau V.11 : les quantités produites et stockées de BG de 2L dans le cas de 15% de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes \ Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	179053,52	28094,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	159162,451	31,22635	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	212580,43	127722,453	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	70517,8	109663,888	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	83538,86	31453,2	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	177979,8	20898,723	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	211067,12	149293,302	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	79950,7	41869,23	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	167476,89	1161,872	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177935,278	17082,68	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155600	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161656,871

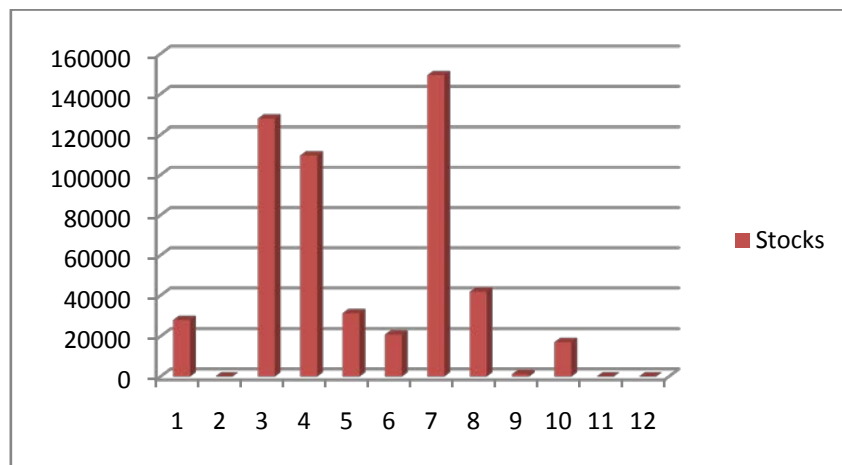


Figure V.11: les quantités stockées de BG de 2L PET dans le cas de 15% de modèle01

Idem, nous remarquons que pour un taux de pannes de 15%, le nombre de produits en stock est considérable pour certains mois et ceci à cause des prévisions prévues en augmentation

2.2.1.2.La ligne RB 100 :

- **Le premier Cas (Le cas idéal)** : la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale zéro pourcent (0%) de la capacité de la ligne en temps régulier. Pour la répartition de la main d'œuvre pendant chaque mois le Tableau V.12 et le diagramme V.12 détaillent le volume horaire de travail en heure régulière, supplémentaire et saisonnière.

Tableau V.12 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas idéal de modèle01

période	MAR	PANN	WNHOS	WNHS	WNHR	WNHRR
1	0	0	0	0	2426,2	801,629
2	0	0	0	0	2426,2	975,007
3	0	0	0	0	2426,2	1065,967
4	0	0	0	0	2426,2	1045,120
5	0	0	0	0	2426,2	581,045
6	0	0	0	0	2426,2	1649,331
7	0	0	0	0	2426,2	921,312
8	0	0	0	0	2426,2	727,904
9	0	0	0	0	2426,2	905,96
10	0	0	0	0	2426,2	376,090
11	0	0	0	0	2426,2	1472,917
12	0	0	0	0	2426,2	27,720

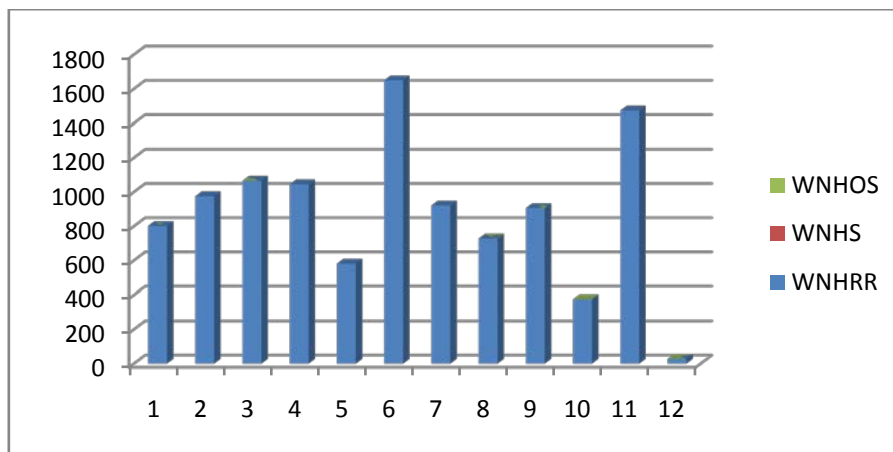


Figure V.12: le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas idéal de modèle01

Nous constatons, que l'entreprise ne travaille pas à pleine capacité en temps régulier, Et ceci vu la baisse des ventes du produit RB100. De même, la gestion des quantités en stock, sont présentés dans le tableau V13 et le diagramme V13.

Tableau V.13 : les quantités produites et stockées de BG de RB 100 dans le cas idéal de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	207833,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	217355,96	37017,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	209768,31	69031,16	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	161072,72	112128,27	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	112128,27	36456,46	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	206586,61	228862,21	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	40387,45	199567,61	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	66522,53	121496,96	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	121496,96	114335,62	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93547,32	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180609	207467,57
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72741,79

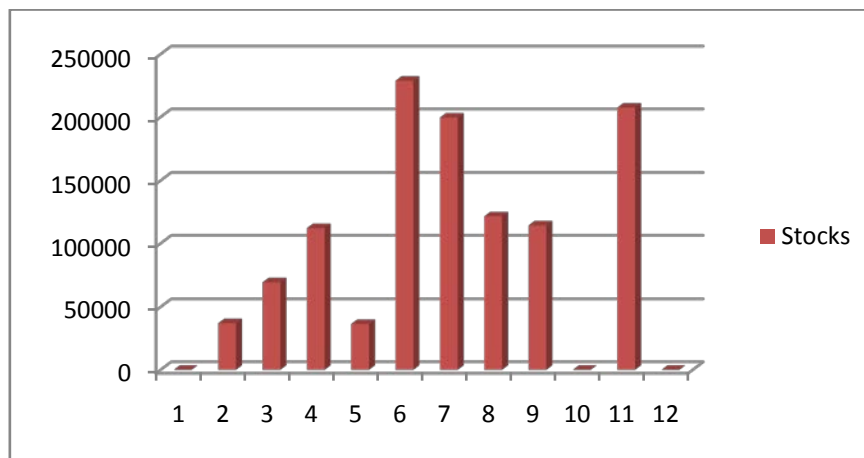


Figure V.13 : les quantités stockées de BG de RB 100 dans le cas idéal de modèle01

- **Le deuxième Cas considération d'un taux de panne de 15 %:** la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale quinze pourcent (15%) de la capacité de la ligne en temps régulier. Malgré la considération des taux de panne de l'ordre de 15 %, l'entreprise travail seulement en régime régulier pour satisfaire la demande de RB 100 L qui est faible.

Tableau V.14 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas 15% de modèle01

période	MAR	PANN	WNHOS	WNHS	WNHR	WNHRR
1	12,13	13,864	0	0	2426,2	1165,553
2	12,13	13,864	0	0	2426,2	1338,868
3	12,13	13,864	0	0	2426,2	1429,827
4	12,13	13,864	0	0	2426,2	1408,980
5	12,13	13,864	0	0	2426,2	944,905
6	12,13	13,864	0	0	2426,2	2013,191
7	12,13	13,864	0	0	2426,2	1285,173
8	12,13	13,864	0	0	2426,2	1091,765
9	12,13	13,864	0	0	2426,2	1269,820
10	12,13	13,864	0	0	2426,2	739,950
11	12,13	13,864	0	0	2426,2	1836,777
12	12,13	13,864	0	0	2426,2	391,580

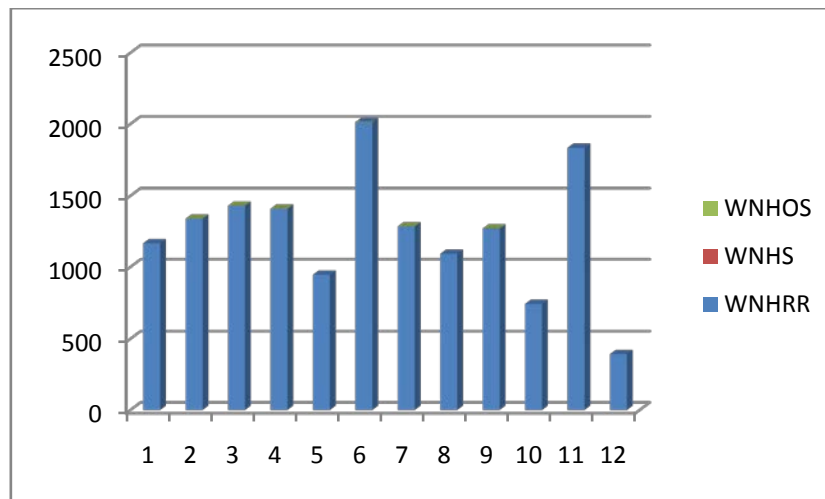


Figure V.14 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas 15% de modèle01

Aussi comme, l'entreprise ne travaille pas à pleine capacité en temps régulier. La gestion des quantités en stock avec un taux de panne de 15%, sont présentés dans le tableau V15 et le diagramme V15

Tableau V. 15 : les quantités produites et stockées de BG de RB 100 dans le cas 15% de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	207833,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	217355,96	37017,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	209768,31	69031,16	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	161072,72	112128,27	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	112128,27	36456,46	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	206586,61	228862,21	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	40387,45	199567,61	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	66522,53	121496,96	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	121496,96	114335,62	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93547,32	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180609	207467,57
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

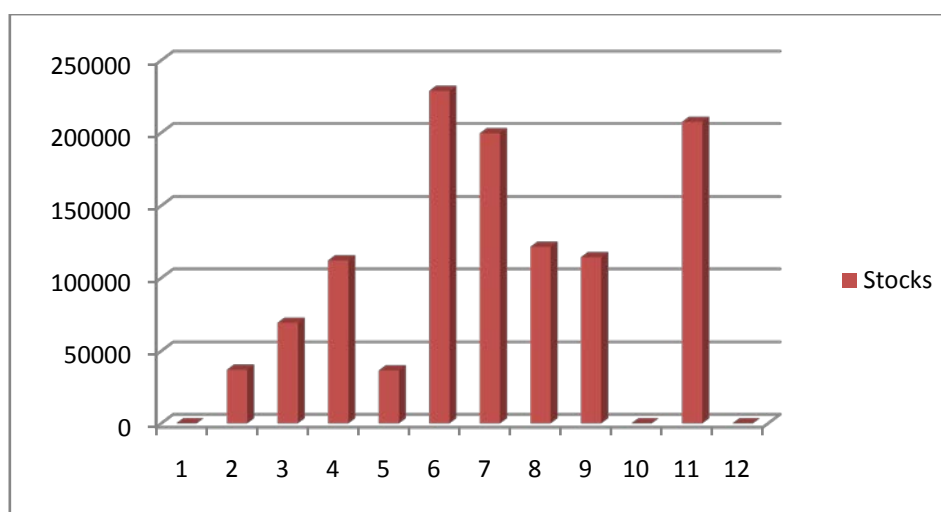


Figure V.15 : les quantités stockées de BG de RB 100 dans le cas 15% de modèle01

2.2.1.3.La ligne RB 25

- **Le premier Cas (le cas idéal):** la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale zéro pourcent (0%) de la capacité de la ligne en temps régulier. Pareil pour ce cas d'étude, A cause de la faible demande du produit RB25. Les volumes horaires de la main d'œuvre en temps régulier, n'atteint jamais la barrière de 2426.2 heure de travail.

Tableau V.16 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas idéal de modèle01

Période	MAR	PANN	WNHOS	WNHS	WNHR	WNHRR
1	0	0	0	0	2426,2	527,368
2	0	0	0	0	2426,2	1091,584
3	0	0	0	0	2426,2	567,393
4	0	0	0	0	2426,2	563,522
5	0	0	0	0	2426,2	604,877
6	0	0	0	0	2426,2	662,567
7	0	0	0	0	2426,2	69,860
8	0	0	0	0	2426,2	1190,525
9	0	0	0	0	2426,2	527,4804
10	0	0	0	0	2426,2	467,442
11	0	0	0	0	2426,2	526,567
12	0	0	0	0	2426,2	69,860

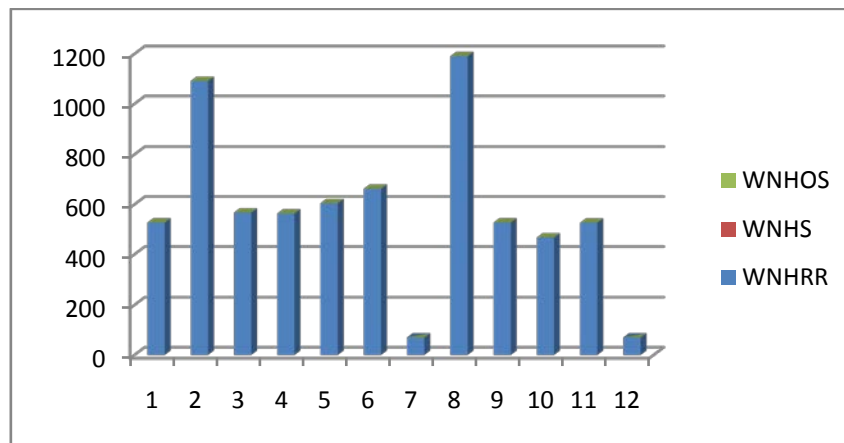


Figure V.16 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB 25 dans le cas idéal de modèle01

Aussi les quantités du produit RB25 produites et en stock sont illustrées en détails dans le tableau V17 et le diagramme V17 pour les boissons gazeuses. Alors que pour le produit de jus RB25 le tableau V18 et le diagramme V18 regroupent les quantités produites et stockées de jus conditionné dans des bouteilles de 25 cl par mois.

Tableau V.17: les quantités produites et stockées de BG de RB 25 CL dans le cas idéal de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	369478,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	386406,26	438723,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	409067,33	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	578071,38	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	432068,23	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	478655,77	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	473038,03	431978,2	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	369559,46	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	321073,14	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	368819,51
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

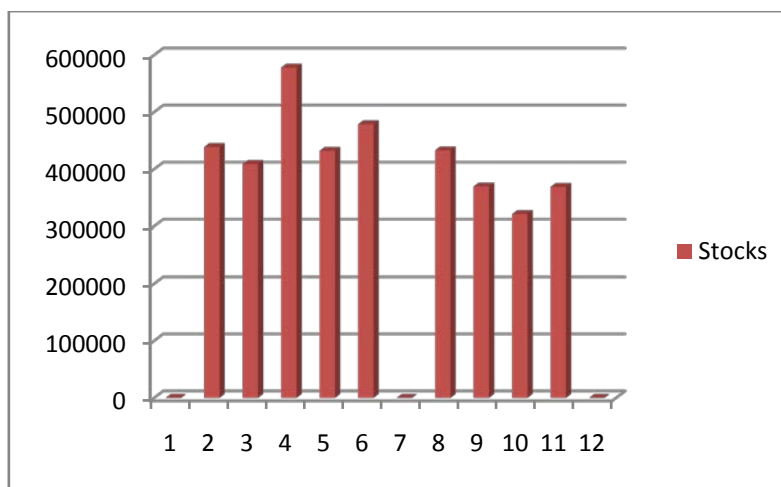


Figure V.17 : les quantités stockées de BG de RB 25 CL dans le cas idéal de modèle01

Tableau V.18 : les quantités produites et stockées de jus 25 CL dans le cas idéal de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	18129,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	18961,4	21529,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	20075,43	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	19566,23	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	21206,37	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	23494,13	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	23219,57	21205,17	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18142,05	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15762,6	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18107,56
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

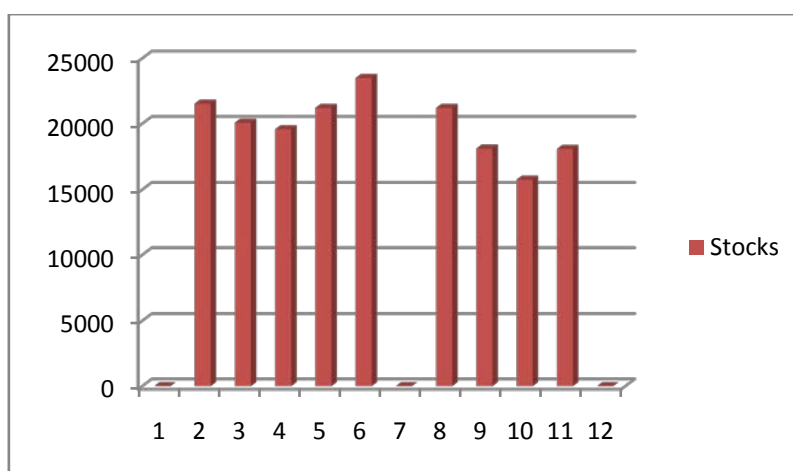


Figure V.18 : les quantités stockées de jus 25 CL dans le cas idéal de modèle01

- **Le deuxième Cas de taux de panne de 15%:** la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale quinze pourcent (15%) de la capacité de la ligne en temps régulier

Tableau V.19 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas de 15% de modèle01

Période	MAR	PANN	WNHOS	WNHS	WNHR	WNHRR
1	12,131	13,864	0	0	2426,2	769,988
2	12,131	13,864	0	0	2426,2	1213,1
3	12,131	13,864	0	0	2426,2	845,050
4	12,131	13,864	0	0	2426,2	569,686
5	12,131	13,864	0	0	2426,2	1179,020
6	12,131	13,864	0	0	2426,2	710,518
7	12,131	13,864	0	0	2426,2	1092,903
8	12,131	13,864	0	0	2426,2	847,391
9	12,131	13,864	0	0	2426,2	312,480
10	12,131	13,864	0	0	2426,2	1167,683
11	12,131	13,864	0	0	2426,2	769,187
12	121,131	13,864	0	0	2426,2	312,480

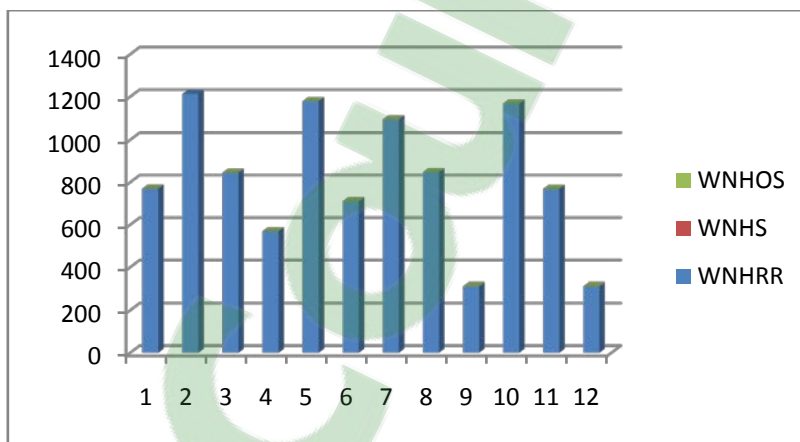


Figure V.19 : le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas de 15% de modèle01

Nous constatons, que l'entreprise ne travaille pas en pleine capacité. Les heures en temps régulier semble suffisante aux niveaux de la demande du produit RB25 pour toutes les périodes et ceci d'après les prévisions obtenues et à cause de la baisse des ventes du produit RB25 au cours du temps. Ainsi les quantités produites et en stock sont regroupées dans les tableaux et les diagrammes ci dessous

Tableau V.20 : les quantités produites et stockées de BG de 25 CL dans le cas de 15% de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	369478,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	386406,26	415494,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	23229	388613,97	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	20453,36	59800,7	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	338270,68	280844,33	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	151223,9	430790,19	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	47865,58	473038,03	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	388780,38	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	43197,82	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	369559,46	321073,14	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	368819,51
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

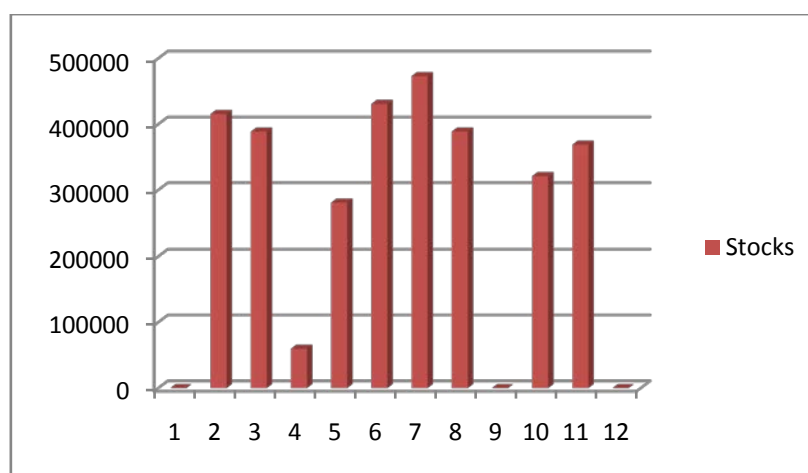


Figure V.20 : les quantités stockées de BG de 25 CL dans le cas de 15% de modèle01

On remarque, une l'augmentation des produits en stock depuis le mois de Février jusqu'à le mois de Novembre.

Tableau V.21 : les quantités produites et stockées de JUS en 25 CL dans le cas de 15% de modèle01

(unité : bouteille) (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	18129,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	18961,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	21529,77	20075,43	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	19566,23	21206,37	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	23494,13	23219,57	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	21205,17	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18142,05	15762,6	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18107,56
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

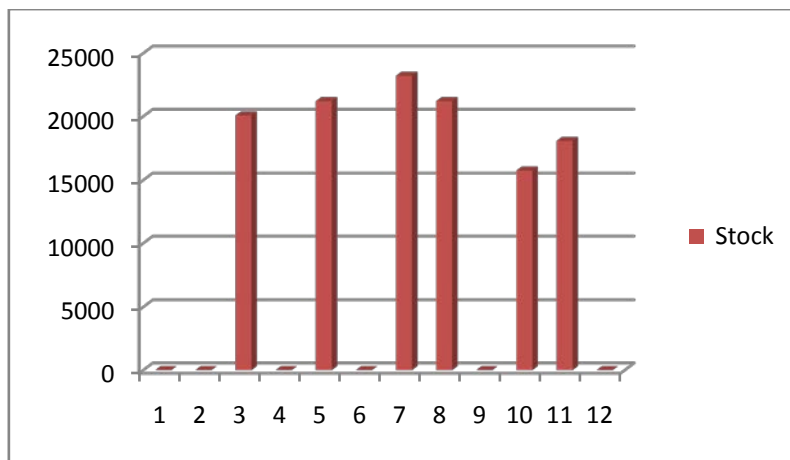


Figure V.21 : les quantités stockées de JUS en 25 CL dans le cas de 15% de modèle01

2.2.2. Les résultats de Modèle 02 : Multi Ligne, Multi Période, MO fixe et MO saisonnière

Ce modèle a pour but de préciser le volume horaire réel par période de la main d'œuvre dans chaque ligne ainsi que le nombre de la main d'œuvre nécessaire en temps régulier pour la mise en marche de l'usine pour bien exploiter ses ouvriers.

2.2.2.1. Le premier Cas (le cas idéal): la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale zéro pourcent (0%) de la capacité de la ligne en temps régulier

2.2.2.1.1. La ligne PET:

Tableau V.22 : Le volume horaire par période de la main d’œuvre de la ligne PET dans le cas idéal de modèle02

Périodes	pannes	Micro-arrêts	WNHRRRI	WNHSI	WNHOSI
1	0	0	1213,1	0	0
2	0	0	1213,1	0	0
3	0	0	1213,1	0	0
4	0	0	1213,1	0	243,99
5	0	0	1213,1	0	29,63
6	0	0	1213,1	0	428,85
7	0	0	1213,1	0	100,4
8	0	0	1213,1	0	22,51
9	0	0	1213,1	0	10,16
10	0	0	1213,1	0	0
11	0	0	1124,448	0	0
12	0	0	1213,1	0	0

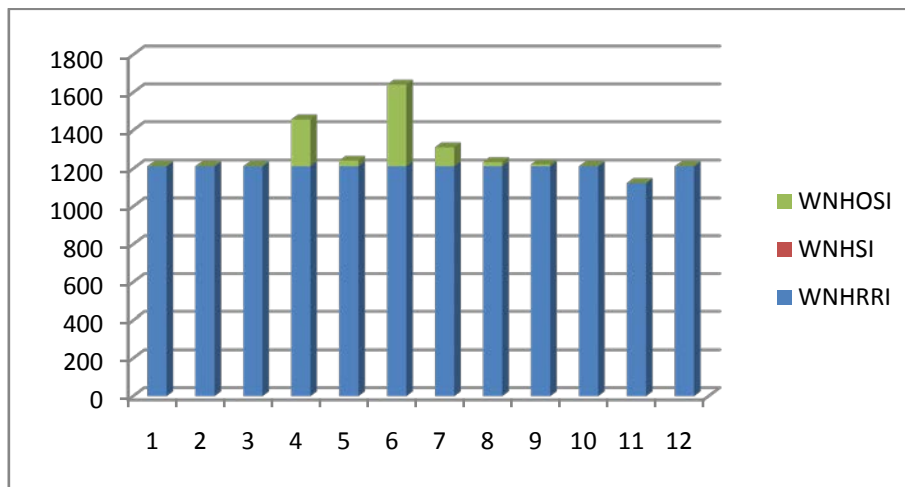


Figure V.22 : Le volume horaire par période de la main d’œuvre de la ligne PET dans le cas idéal de modèle02

Nous observons que l’entreprise doit travailler en pleine capacité dans le temps régulier durant toute l’année à l’exception du mois de novembre vu la baisse globale de la demande. En plus dans certains mois de l’année, il vaut mieux ajouter des heures supplémentaires que de recruter des équipes saisonnières de travail. Pour équilibrer la balance entre les demandes par produit, l’organisation de la gestion des stocks explicite la répartition des charges de travail. Les résultats en détail concernant le produit PET 1L, PET2 L, sont groupés dans les tableaux V23- V24 et les diagrammes V23- V24.

Tableau V.23 : les quantités produites et stockées de BG de 1L PET dans le cas idéal de modèle02

(la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	81406,518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	85136,918	96664,941	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	90131,495	87841,749	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	95201,141	105467,147	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	104230,284	57110,364	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	38073,577	4071,555	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77359,55	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70747,954	12190,433
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69079,12

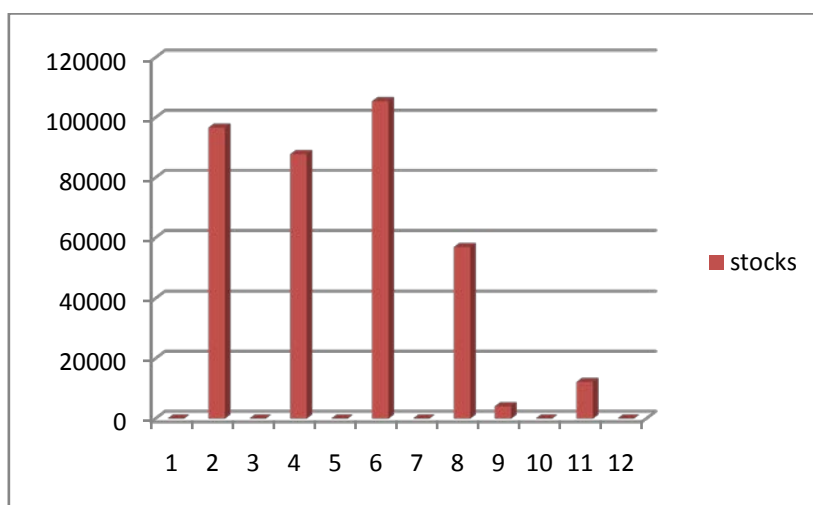


Figure V.23 : les quantités stockées de BG de 1L PET dans le cas idéal de modèle02

Tableau V.24 : les quantités produites et stockées de BG de 2L PET dans le cas idéal de modèle02

(la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	179053,516	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	187257,316	74414,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	138197,57	128856,16	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	69384,093	67620,958	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	125581,8	136102,2	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	73285,8	81188,05	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	150777,79	126084,2	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	103159,8	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	209346,12	3204,67	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175892,478	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155599,978	7005,639
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171733,918

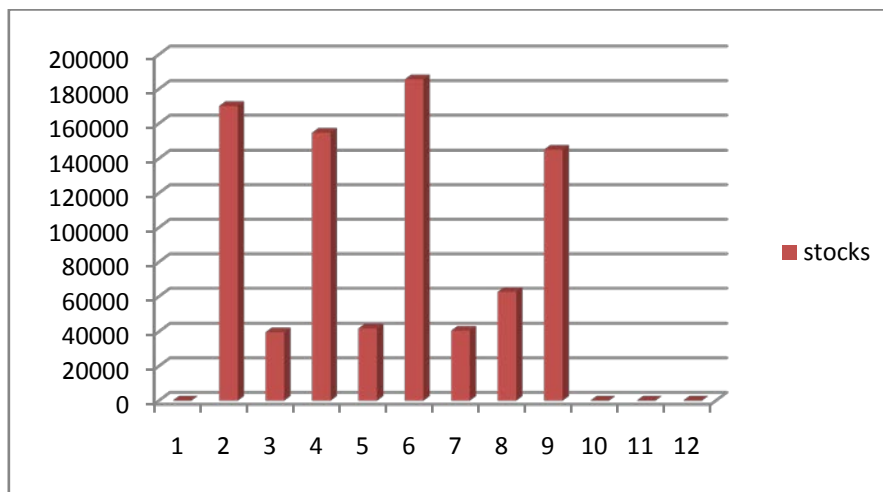


Figure V.24 : les quantités stockées de BG de 2L PET dans le cas idéal de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis commence de mois Février jusqu'à le mois de Septembre à cause des prévisions prévu en augmentation de la demande du produit à partir de mois de Mars jusqu'à Septembre.

2.2.2.1.2. La ligne RB100 :

Pour la ligne RB 100, et vu la faible demande les résultats d'optimisation sont groupés dans les indicatifs ci-dessous.

Tableau V.25 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas idéal de modèle02

Période	pannes	Micro-arrêts	WNHRRI	WNHSI	WNHOSI
1	0	0	801,692	0	0
2	0	0	837,15	0	0
3	0	0	1375,202	0	0
4	0	0	692,85	0	0
5	0	0	1245,87	0	0
6	0	0	586,19	0	0
7	0	0	1067,81	0	0
8	0	0	671,81	0	0
9	0	0	1474,53	0	0
10	0	0	461,74	0	0
11	0	0	1039,35	0	0
12	0	0	259,5	0	0

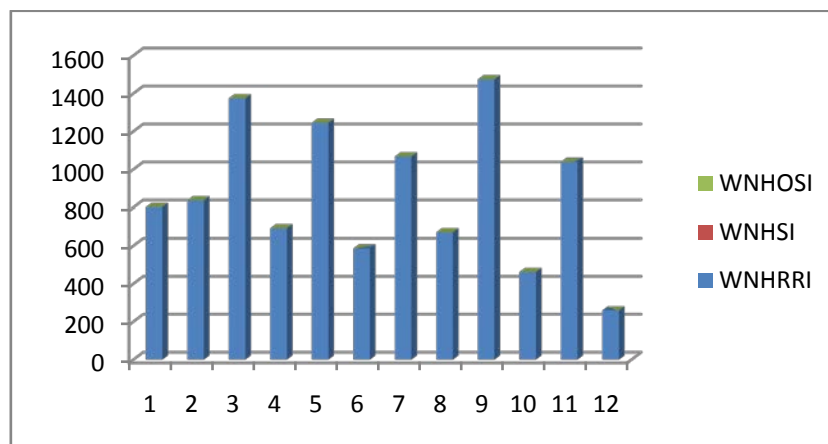


Figure V.25 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas idéal de modèle02

Tableau V.26 : les quantités produites et stockées de BG RB100 Dans le cas idéal de modèle02

(la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	207833,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	217355,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	246785,4	115051,94	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	115051,94	67276,96	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	156979,58	170130,13	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	72912,92	80774,9	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	188474,75	93131,55	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	172958,59	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	242993,92	145518,06	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62364,88	54182,7	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126426,3	145227,31
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62240,26

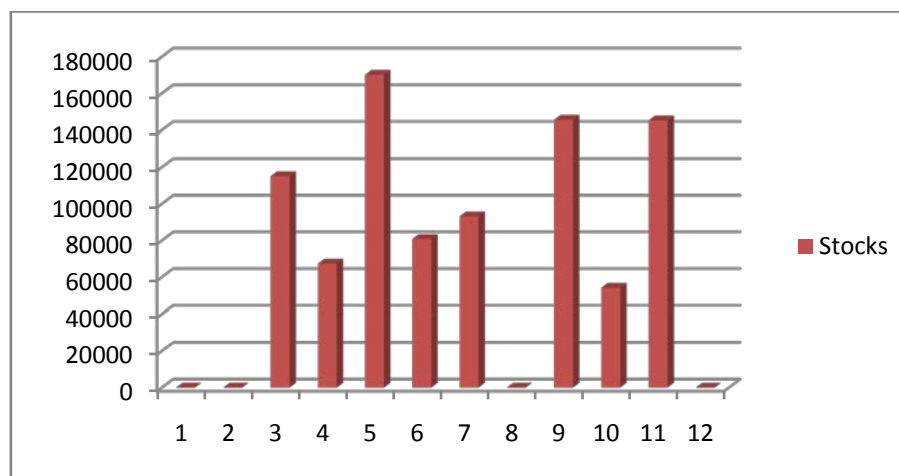


Figure V.26 : les quantités stockées de BG RB100 Dans le cas idéal de modèle02

2.2.2.1.3. La ligne RB25 :

De même pour la ligne RB 25, et vu la faible demande les résultats d'optimisation sont groupés dans les indicatifs ci-dessous.

Tableau V.27 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas idéal de modèle02

Les Périodes	Les pannes	Micro-arrêts	WNHRRRI	WNHSI	WNHOSI
1	0	0	1059,356	0	0
2	0	0	1458,138	0	0
3	0	0	1192,866	0	0
4	0	0	1811,975	0	0
5	0	0	532,1306	0	0
6	0	0	1197,444	0	0
7	0	0	1713,295	0	0
8	0	0	463,8691	0	0
9	0	0	1270,548	0	0
10	0	0	1387,965	0	0
11	0	0	1468,151	0	0
12	0	0	144,34	0	0

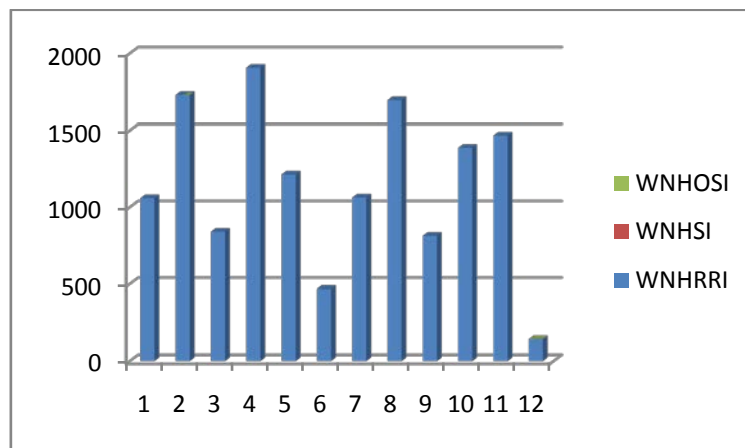


Figure V.27 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas idéal de modèle02

On remarque que l'entreprise ne travaille pas en pleine capacité toutes les périodes. Et l'augmentation des heures en temps régulier semble suffisante pour satisfaire les demandes.

Tableau V.28 : les quantités produites et stockés de BG RB 25 dans le cas idéal de modèle02 : (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	369478,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	386406,26	241298,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	197425,68	102266,8	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	306800,51	398671,38	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	432068,23	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	143596,74	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	335059,03	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	473038,03	194390,17	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	237588,03	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	369559,46	144482,91	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176590,23	295055,6
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73763,91

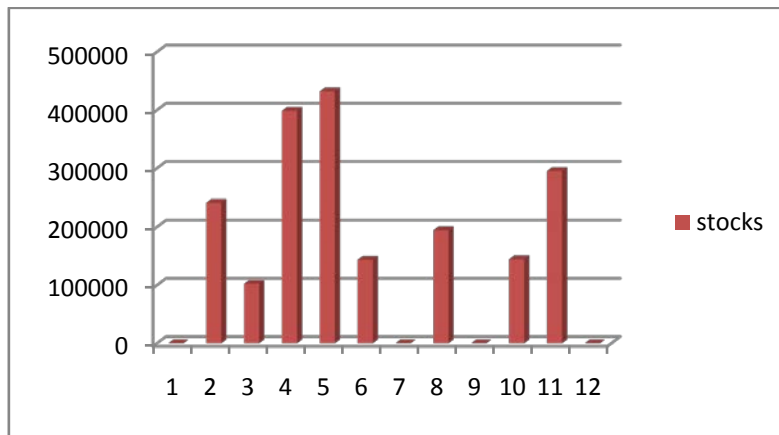


Figure V.28 : les quantités stockées de BG RB 25 dans le cas idéal de modèle02

Tableau V.29 : les quantités produites et stockés de JUS RB 25 dans le cas idéal de modèle02 : (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	18129,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	18961,4	21529,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	20075,43	19566,23	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	21206,37	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	23494,13	23219,57	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	21205,17	18142,05	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15762,6	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18107,56
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

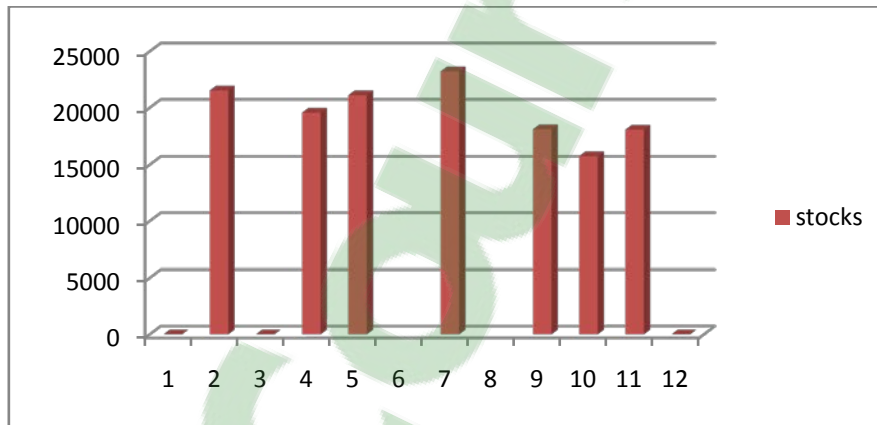


Figure V.29 : les quantités stockées de JUS RB 25 dans le cas idéal de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis commence de mois Février jusqu'à le mois de Novembre. (Exemple : la quantité stockée dans le mois d'Avril c'est la quantité vendu dans le mois de Mars.

2.2.2.2. **Le deuxième cas de taux de panne de 5 % :** la somme des temps des micro-arrêts et pannes égale cinq pourcent (5%) de la capacité de la ligne en temps régulier

2.2.2.2.1. **La ligne PET :**

Tableau V.30 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne PET dans le cas 5% de modèle02

Les périodes	Les Micro-arrêts	Pannes	WNRRI	WNHSI	WNHOSI
1	4	4	1213,1	0	0
2	4	4	1213,1	0	0
3	4	4	1213,1	0	0
4	4	4	1213,1	0	442,6171
5	4	4	1213,1	0	403,6174
6	4	4	1213,1	0	572,4793
7	4	4	1213,1	0	690,3679
8	4	4	1213,1	0	497,7616
9	4	4	1213,1	0	450,3712
10	4	4	1213,1	0	0
11	4	4	1213,1	0	0
12	4	4	1213,1	0	0

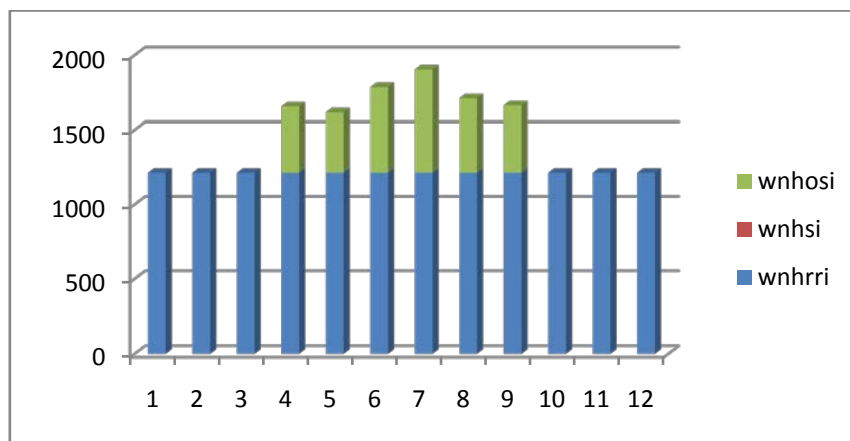


Figure V.30 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne PET dans le cas 5% de modèle02

L'entreprise doit travailler en pleine capacité pour satisfaire les demandes .L'entreprise augmente sa capacité par l'admission des ouvriers saisonnier dans la période d'Avril à Septembre à cause des prévisions prévu en augmentation de la demande du produit .

Tableau V.31: les quantités produites et stockés de BG en PET 1L dans le cas de 5% de modèle02 (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	81406,518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	85136,918	96664,941	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	90131,485	87841,74	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	95201,141	105467,138	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	104230,285	95183,941	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81431,105	70747,954	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77206,076

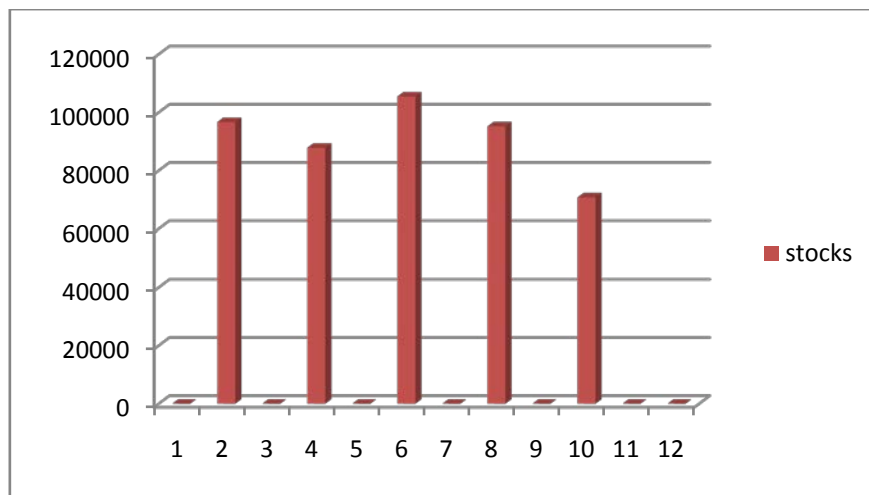


Figure V.31: les quantités vendues et stockés de BG en PET 1L dans le cas de 5% de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis s'alterne balance entre zéro et une valeur dans la période qui suit. Et ceci pour réduire plusieurs coûts liées au temps de changements et l'affectation de la main d'oeuvre dans d'autres lignes qui sont en charge.

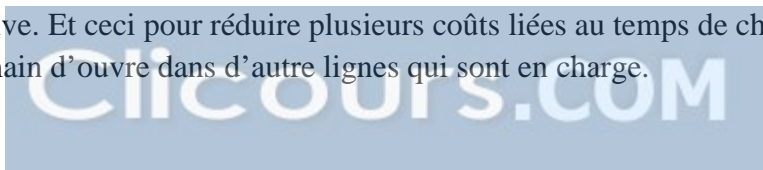


Tableau V.32 : les quantités produite et stockés de BG en PET 2L dans le cas de 5% de modèle02 (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	179053,516	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	187257,316	90124,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	122486,91	138768,18	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	59472,082	57960,828	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	135241,93	146571,6	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	62816,4	61164,222	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	205188,22	203334,92	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	22924,4	20934,61	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	157009,59	134322,858	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44774,29	23781,008	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131818,968	62558,838
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116180,72

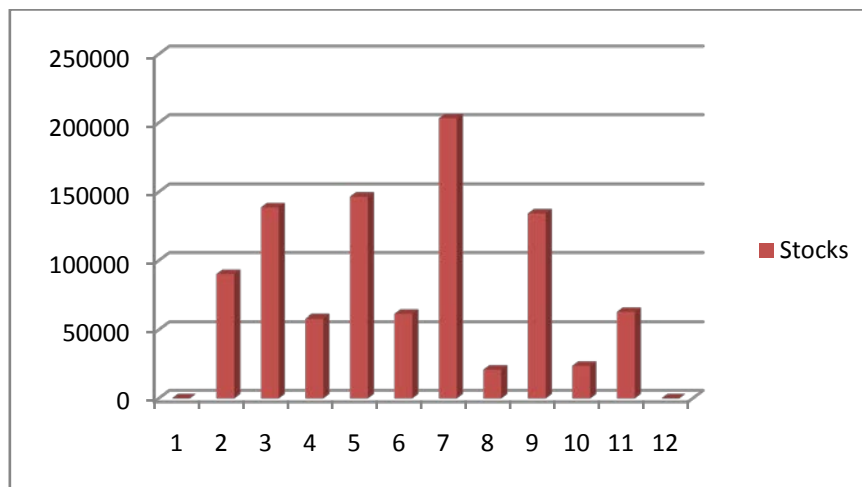


Figure V.32 : les quantités stockées de BG en PET 2L dans le cas de 5% de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis commence de mois Février jusqu'à le mois de Novembre à cause des prévisions prévu en augmentation de la demande du produit à partir de mois de Mars jusqu'à Septembre. Et ceci pour réduire plusieurs coûts liées au temps de changements et l'affectation de la main d'ouvre dans d'autre lignes qui sont en charge.

2.2.2.2. La ligne RB100 :

Tableau V.33 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas 5% de modèle02

Les périodes	Micros pannes	Pannes	WHRRI	WNHSI	WNHOSI
1	4	4	1081,693	0	0
2	4	4	1714,522	0	0
3	4	4	929,2975	0	0
4	4	4	1402,925	0	0
5	4	4	916,7983	0	0
6	4	4	1547,776	0	0
7	4	4	1343,064	0	0
8	4	4	1193,187	0	0
9	4	4	624,4383	0	0
10	4	4	1754,464	0	0
11	4	4	1080,329	0	0
12	4	4	307,72	0	0

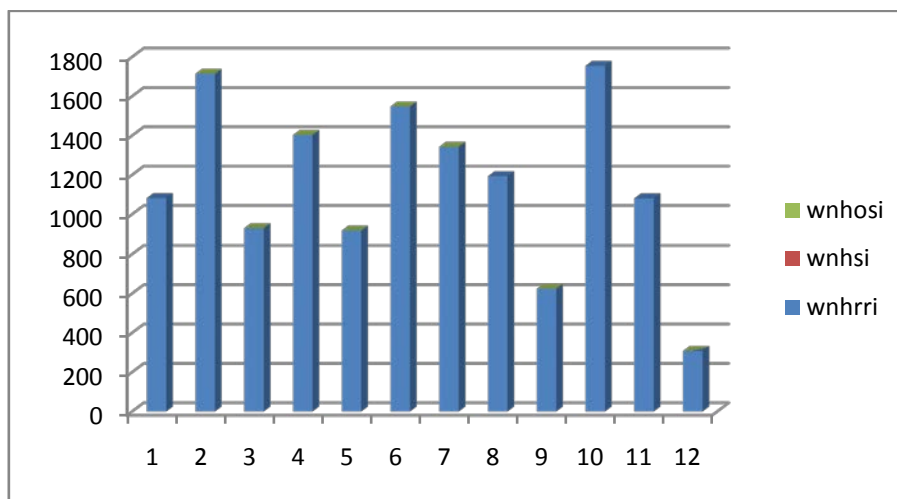


Figure V.33 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB100 dans le cas 5% de modèle02

On remarque que l'entreprise ne travaille pas en pleine capacité toutes les périodes. Et l'augmentation des heures en temps régulier semble suffisante pour satisfaire les demandes

Tableau V.34 : les quantités produites et stockés de BG en RB100 dans le cas de 5% de modèle02 (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes / Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	207833,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	217355,96	160410,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	86374,89	80536,36	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	228057,31	230831,82	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	36456,46	40387,45	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	121521,53	134624,83	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	174064,42	259161,28	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	85047,87	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	85047,87	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207882,94	180609	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207467,56
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

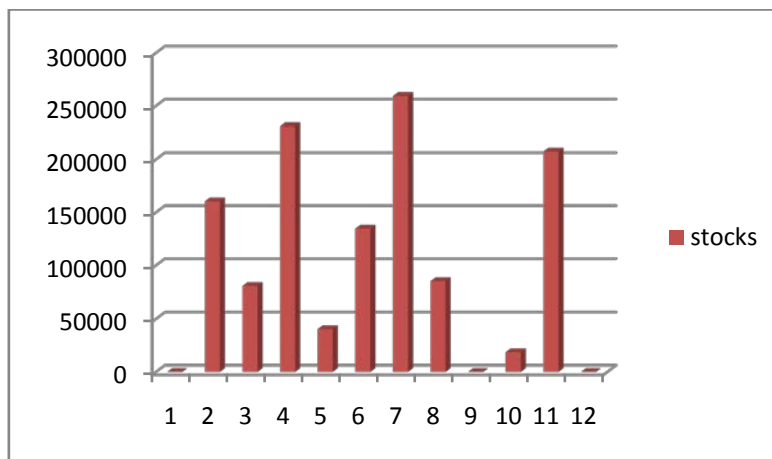


Figure V.34 : les quantités stockées de BG en RB100 dans le cas de 5% de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis commence de mois Février jusqu'à le mois de Novembre. Et ceci pour réduire plusieurs coûts liées au temps de changements et l'affectation de la main d'œuvre dans d'autres lignes qui sont en charge.

2.2.2.3. La ligne RB25 :

Tableau V.35 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas 5% de modèle02 (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Les périodes	Micros pannes	Pannes	WNHRRI	WNHSI	WNHOSI
1	4	4	1339,356	0	0
2	4	4	1805,053	0	0
3	4	4	1700,393	0	0
4	4	4	1755,848	0	0
5	4	4	808,2499	0	0
6	4	4	1921,609	0	0
7	4	4	1617,816	0	0
8	4	4	1662,439	0	0
9	4	4	1241,615	0	0
10	4	4	1520,104	0	0
11	4	4	1337,755	0	0
12	4	4	424,34	0	0

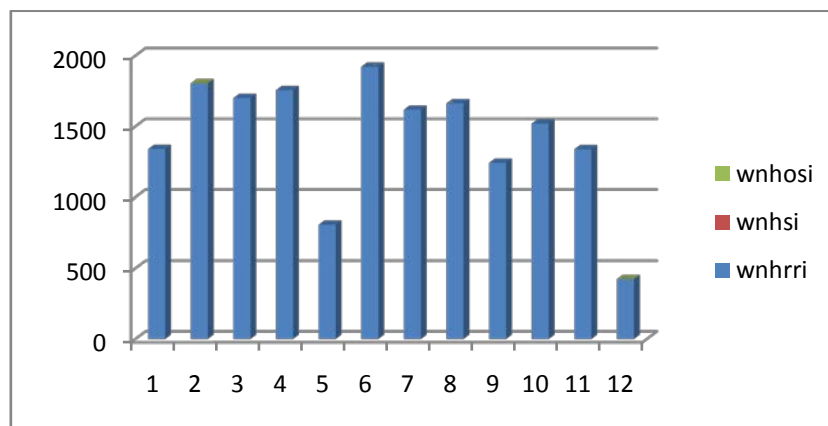


Figure V.35 : Le volume horaire par période de la main d'œuvre de la ligne RB25 dans le cas 5% de modèle02

On remarque que l'entreprise ne travaille pas en pleine capacité toutes les périodes. Et l'augmentation des heures en temps régulier semble suffisante pour satisfaire les demandes.

Tableau V.36 : les quantités produites et stockés de BG en RB25 dans le cas de 5% de modèle02 (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	369478,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	386406,26	153553,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	285170,47	265893,73	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	143173,6	378737,81	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	19933,57	151223,9	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	280844,33	335059,03	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	190900,54	350672,54	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	118259,51	323983,66	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	64796,72	240213,64	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	129345,82	321073,14	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	368819,51
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

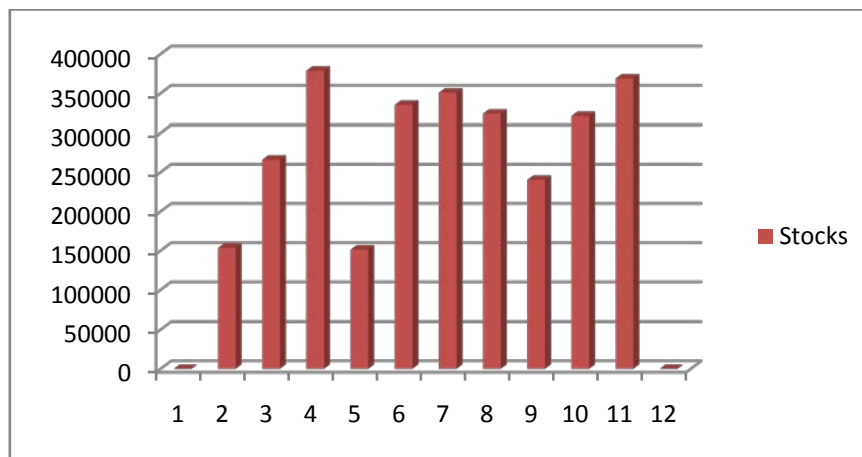


Figure V.36 : les quantités stockées de BG en RB25 dans le cas de 5% de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis commence de mois Février jusqu'à le mois de Novembre

Tableau V.37 : les quantités produites et stockés de JUS en RB25 dans le cas de 5% de modèle02 (la couleur bleu se refaire à la quantité produite et vendue dans la même période, la couleur rouge se refaire à la quantité produite dans période p et vendue dans la période suivante)

Périodes de ventes Périodes de production	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	18129,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	18961,4	21529,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	20075,43	19566,23	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	21206,37	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	23494,13	23219,57	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	21205,17	18142,05	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15762,6	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18107,56
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

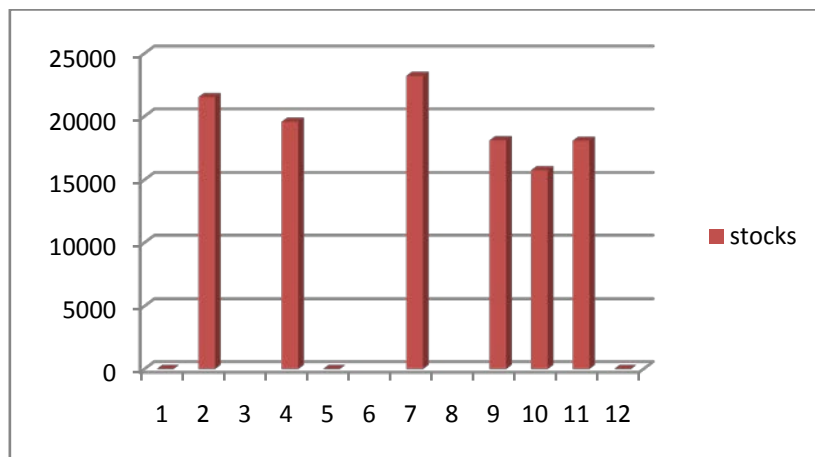


Figure V.37 : les quantités stockées de jus en RB25 dans le cas de 5% de modèle02

On remarque que le stockage des produits finis commence de mois Février jusqu'à le mois de Novembre à cause des prévisions prévu en augmentation de la demande du produit à partir de mois de Mars jusqu'à Septembre.

2.3. La comparaison entre le modèle mono-ligne et multi-ligne:

Dans cette partie, nous comparons entre les résultats apportés par les deux modèles dans le cas idéal. La comparaison sera basée sur :

- Le volume horaire Totale montré dans le tableau V.38
- Le cout global de la main d'œuvre montré dans le tableau V. 39
- Le coût de profit montré dans le tableau V. 40

2.3.1. Le volume horaire Totale:

Tableau V.38 : le volume horaire total des deux modèles

Modèle	1 ^{ier} : Mono ligne		2 ^{ème} : Multi lignes	
	Le volume horaire de chaque ligne	PET	16 400,8754	PET
RB 100		10 550,002	RB 100	10 513,694
RB25		6 869,0454	RB25	13 700,957
Le volume horaire total	33 819,9228		40 486,949	
La différence	16.46 %			

D'après la comparaison entre les résultats des deux modèles, nous remarquons que le volume d'horaire total dans le 2^{ème} modèle Multi ligne est supérieur que le volume de 1^{ier} modèle Mono ligne. Ceci est en effet, expliqué par l'exploitation optimale des ouvriers dans le deuxième modèle d'une manière plus efficace.

2.3.2. Le cout global de la main d'œuvre:

Tableau V.39 : comparaison de cout globale de la main d'œuvre

Modèle	1 ^{ier} : Mono ligne		2 ^{ème} : Multi lignes	
	Le cout global de la main d'œuvre de chaque ligne (DA)	PET	1 759 016,25	PET
RB 100		1 095 617,71	RB 100	1 091 847,12
RB25		713 350,323	RB25	412 328,58
Le cout global total (DA)	3 567 984,283		3 196 128,16	
La différence (DA)	10.42 %			

Par ailleurs à propos d'analyse des coûts, il est nettement claire que la considération de approche intégrale multi-lignes offre un meilleur résultat que le cas mono-ligne, et ceci puisque, le cout global de la main d'œuvre dans le 2^{ème} modèle est inférieur que le cout de 1^{ier} modèle à raison que :

- **Le premier modèle :** Pour chaque ligne, le nombre d'ouvrier est déjà fixe, c'est à dire si une demande est supérieur à la capacité de production de cette ligne, il faut augmenter la capacité de sa production par l'admission d'une équipe des ouvriers en heure supplémentaire ou saisonnière indépendante des autres lignes.
- **Le deuxième modèle :** c'est le modèle le plus flexible au niveau de la maniabilité de la main d'ouvre. En effet il sera possible qu'une équipe dans une ligne peut déplacer pour travailler dans une autre ligne soient en heure régulier ou en heure supplémentaire.

2.3.3. Le profit :

Tableau V. 40: la comparaison de profit de chaque modèle

Modèle	1 ^{ier} : Mono lignes		2 ^{ème} : Multi lignes	
	Profit de chaque ligne	PET	129 977 000 DA	/
RB 100		42 247 050 DA	/	/
RB 25		32 298 340 DA	/	/
Profit globale	204 522 390 DA		290 936 000 DA	
La différence	29.7%			

Il est clair que le profit global de modèle multi ligne est supérieur que le premier modèle car le coût global de la main d'œuvre dans le modèle multi-lignes est inférieur que le coût de profit obtenu à partir de l'optimisation du premier modèle.

3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une analyse des prévisions des ventes réalisés par l'application de la méthode HOLT WINTERS sous le logiciel MATLAB

Dans la deuxième partie, nous avons introduit ces prévisions dans les modèles mathématiques mono-ligne et multi-lignes. A l'aide du solveur LINGO.10, les optimisations des coûts de profit, de main d'œuvre et de stockage sont optimisées. Pour voir l'impact des pannes et de vétusté des machines, plusieurs scénarios liés au taux de panne sont considérés et investigués.

Après la comparaison des résultats obtenus par l'optimisation des deux modèles mono-ligne et multi-lignes, nous avons constaté que pour maximiser le profit, il faut bien exploiter les ouvriers dans une considération collaborative.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le domaine du management des chaînes logistiques. Plus particulièrement la planification de la production, en se basant sur la planification agrégée a été investigué dans un cadre pratique chez l'entreprise l'Exquise à Tlemcen. Pour un objectif de maximiser le profit en minimisant l'ensemble des couts liées à la production ainsi que l'utilisation des déférentes ressources, un problème d'optimisation d'analyse combinatoire à plusieurs contraintes a été résolu.

Dans la première partie, nous avons utilisé des données historiques des ventes afin de déterminer les prévisions des demandes qui seront utilisé dans le modèle de la planification agrégée. Plus précisément, nous avons opté la méthode de Holt-Winter's à cause du caractère de la saisonnalité des produits.

Les résultats de la prévision de la demande de plusieurs produits obtenus, ont été utilisés dans la deuxième partie qui concerne la planification agrégée. Deux approches de modélisation mathématique par la programmation linéaire en nombre entier ont été exploitées. Après l'analyse de résultats dont nous avons considéré plusieurs scénarios relatifs au taux de panne, nous avons constaté que pour une meilleure maximisation du profit, il vaut mieux optimiser le système de production en intégralité afin de bien exploiter les coûts de la main d'ouvre.

Comme perspective :

Pour l'entreprise l'Exquise, nous avons constaté que cette entreprise néglige l'impact de la logistique dans la gestion optimale des ces ressources. Bien que, elle continue à fonctionner à ce jour, mais vu que l'état la dégradation des lignes de production et en ajoutant la compétitivité extérieur issue d'autres entreprises, la contribution du modèle multi-lignes guide les décideurs à redynamiser l'économie de leur entreprise. Ceci dit que notre approche servira à exploiter d'autres points de consommation par rapport à l'amortissement de nouveaux investissements.

Pour la communauté de recherche, cette étude pourra être considérée comme une référence d'étude sur plusieurs entreprises. Aussi, nous devons traiter dans le future d'une manière plus critique l'affinité des prévisions. C'est-à-dire le challenge est comment arriver à considérer des demandes dynamiques dans l'année lunaire par rapport à des prévisions référenciées dans les années solaires ? Notamment dans les pays musulmans, les piques de demandes de certains produits dépendent de l'année Hidjr et non plus de l'année solaire.

Entre autre, il sera aussi intéressent d'étudier la chaîne logistique en intégralité de l'amont vers l'aval dont les logistiques de choix de fournisseur, des gestions des stocks et des transports seront étudiés.

Références Bibliographique

1. Aïcha AMRANI-ZOUGGAR. Thèse : impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique : Modélisation et simulation. Soutenue le 20 Novembre 2009
2. Aida KADDOUSSI , thèse Optimisation des flux logistiques: vers une gestion avancée de la situation de crise _ 26 Novembre 2012
3. Cathy Wolosewicz. Approche intégrée en planification et ordonnancement de la production. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne,. 2008.
4. Claude Olivier. Planification agrégée des ressources, Introduction au calcul des plans agrégés des ressources en contexte manufacturier. Copyright © FORAC et Claude Olivier, 2003.
5. Diane DUPONCHEL - Article sur L'impact de la citoyenneté sur la gestion de la Supply Chain-(Citoyenneté & Supply Chain) . 2010
6. Flávia M. Takey, Aggregate Planning for a Large Food Manufacturer with High Seasonal Demand Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil E-mail: flavia.takey@poli.usp.br
Marco A. Mesquita Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil E-mail: marco.mesquita@poli.usp.br.
7. florence pirard . Une démarche hybride d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification stratégique des réseaux logistiques des entreprises multi-sites. septembre 2005
8. François GALASSO. Thèse : Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande Flexible __ 23 avril 2007
9. Hassen GHARBI . Planification réactive et robuste au sein d'une chaîne logistique Le 10 Novembre 2012
10. Jack G.A.J. van der Vorst (Professeur de logistique et de recherche opérationnelle), Carlos A. da Silva (Économiste des entreprises agricoles), Jacques H. Trienekens (Professeur associé pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement), Document de Gestion de la chaîne d'approvisionnement agro-industrielle: concepts et applications_2011
11. JAOUHER MAHMOUDI , Simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaînes logistiques : application au secteur de l'électronique et des télécommunications _ 24 novembre 2006
12. K. Hadj-Hamou. Contribution à la conception de produits à forte diversité et de leur chaîne logistique : une approche par contraintes.France (2002).
13. MARTIN BEAULIEU JACQUES ROY, Optimisation de la chaîne logistique et productivité des entreprises __ Septembre 2009

14. Micheal Comelli ; Modélisation, optimisation et simulation pour la planification tactique des chaînes logistiques.. France 2008
15. M. Julien FRANCOIS (Ingénieur ENSEEIHT), Thèse Planification des chaînes logistiques : Modélisation du système décisionnel et performance__ 17 décembre 2007
16. M. MATTHIEU LAURAS. thèse Méthodes de diagnostic et d'évaluation de performance pour la gestion de chaînes logistiques : application à la coopération maison-mère – filiales internationales dans un groupe pharmaceutique et cosmétique__ 07 juillet 2004
17. Philippe Marier, Consortium de Recherche FOR@C Pavillon Adrien-Pouliot Université Laval Québec, G1K 7P4.www.forac.ulaval.ca.
18. Philippe -Pierre Dornier, Michel Fender , La logistique globale et le supply chain management _ Deuxième édition 2007
19. Salah Eddine Merzouk. Problème de dimensionnement de lots et de livraisons : application au cas d'une chaîne logistique _ 08-11-2007
20. Thibault HUBERT, Thèse de prévision de la demande et pilotage des flux en approvisionnement lointain. - soutenue le 30 janvier 2013
21. Thi Le Hoa VO. Simulation et gestion des chaînes logistiques globales dans l'incertain : application à une filière agro-alimentaire face à la crise sanitaire __ 2010
22. Thomas ZEROUAL (Enseignant - Chercheur à l'ESCE - Laboratoire CIRCEE), Corinne BLANQUART (Université Paris Est, IFSTTAR, SPLOTT), Valentina CARBONE (ESCE et ESCP-EAP) Supply Chain Management : Portée et limites L'apport des théories des réseaux
23. Yves Pimor, Michel Fender ; Livre de logistique : Production • Distribution • Soutien_

Abstract

In this paper, we studied the production management problem in the context of a multi-product, multi-line and multi-periods within the company of soft drinks EXQUISE (Tlemcen).

by considering the lines of aging factor, management production lines with respect to various human and technical resources have been inspected. Also, in front of the variation demands during different months of the year, we considered a threshold in terms of months of storage which follows the production month of each product and aroma.

To reflect the reality of these considerations, first, we anticipated the tactical plan of production with estimated demands for 2016 using seasonal forecast method of Holt-Winter's. Below, and to balance production costs to meet these forward demands, we developed two mathematical programming models MILP mixed integer. From the first model, we studied separate ways, optimization of aggregate planning of three major production lines PET (1L, 2L), RB100 (1L) and RB25 (25CL, juice). However, for an integral vision of the production system, a second mathematical model of linear programming mixed integer is established that the aggregate production level considering the three lines at once. Note that this study can be classified as a strategic horizon with sequences in a tactical considerations time, optimizing the exact method of separation and evaluation of Branch & Bound with the LINGO.10 shopping solver and is widely satisfactory and is used.

Keywords: aggregate planning, demand forecasting, production plan

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons étudié le problème de gestion de la production dans un cadre multi-produit, multi-lignes et multi-périodes au sein de l'entreprise de production des boissons gazeuses l'Exquise (Tlemcen). Vu la considération du facteur de vieillissement des lignes, des gestions des lignes de production par rapport aux différentes ressources techniques et humaines disponibles ont été inspectées. Aussi, face à la variation des demandes pendant les différents mois de l'année, nous avons pris en considération un seuil au niveau des mois de stockage qui succède le mois de production de chaque produit et chaque arôme.

A fin de refléter la réalité de ces considérations, en premier lieu, nous avons anticipé la plan tactique de production par des prévisions des demandes de l'année 2016 en utilisant la méthode de prévision saisonnière de Holt-Winter's. Ci-après, et afin d'équilibrer les charges de production pour répondre à ces demandes prévisionnelles, nous avons élaboré deux modèles mathématiques de programmation en entier mixte MILP. À partir du premier modèle, nous avons étudié de manières séparées, l'optimisation de la planification agrégée des trois principales lignes de production PET (1L;2L), RB100(1L) et RB25 (25CL, JUS). Cependant, pour une vision intégrale du système de production, un deuxième modèle mathématique de programmation linéaire en entier mixte est établi dont le plan agrégé de production considère les trois lignes à la fois. Notons, que cette étude peut être classée dans un cadre d'horizon stratégique avec des considérations des séquences dans un temps tactique, l'optimisation par la méthode exacte de séparation et évaluation de Branch & Bound à l'aide du solveur commerciale LINGO.10 et est largement satisfaisante et est utilisée.

Mots clés : planification agrégée, les prévisions des demandes, plan de production