



Faculté des sciences de l'ingénierat

Département de Génie Mécanique

THESE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat Es Sciences

Pilotage d'une production sous contraintes d'indisponibilité

Option : Génie Mécanique

Présenté par :

KHEIREDDINE Abdelaziz

DIRECTEUR DE THESE Pr. BOUCHELAGHEM Abdelaziz
Mahmoud U. ANNABA

DEVANT LE JURY

PRESIDENT: Pr. KHELIF Rabia U. ANNABA

EXAMINATEURS: Pr. ALI RACHEDI Mahieddine E.S.T.I

Pr. BOUZAOUT Azeddine U. SKIKDA

MC. GUEBAILIA Moussa U. OUARGLA

MC. BOURENANE Rabah U. ANNABA

Année universitaire: 2018- 2019

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur Mr. le professeur Abdelaziz BOUCHELAGHEM. Ce travail ne serait pas ce qu'il est sans sa présence, sa disponibilité, sa rigueur scientifique, sa gentillesse, et ses précieux conseils qui m'ont permis de travailler dans les meilleures conditions.

J'exprime toute ma gratitude aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail de thèse: Mr. le professeur KHELIF Rabia, en sa qualité de président de jury,

Mr. ALI RACHDI Mahieddine , Professeur à l'Ecole Supérieure des technologies industrielles E.S.T.I en sa qualité d'examineur.

Mr. BOUZAOUIT Azeddine Professeur à l'université de Skikda en sa qualité d'examineur;

Mr. GUEBAILIA Moussa , Maître de conférences, université Kasdi Merbah -Ouargla en sa qualité d'examineur;

Mr. BOURENANE Rabah , Maître de conférences, université d'Annaba en sa qualité d'examineur

Je remercie infiniment mon cher ami Zoheir Derghout de toute l'aide qu'il a fournie, pour mener à bien ce travail.

Je remercie également tous mes collègues de promotion d'étude, je cite en particulier Mehdi Ben ouarzeg, Hichem Bounezour et Mounira Bouali

J'adresse mes remerciements particuliers à mon épouse, pour sa patience, son soutien sans limite et ses conseils précieux qui ont su créer un climat adorable sans lequel ce travail n'aurait jamais pu être achevé.

Enfin, je ne terminerai pas sans avoir exprimé toute ma gratitude à mes parents qui ont consentis beaucoup de sacrifices à mon éducation.

A.Kheireddine

Table des matières

Liste des figures	00
Liste des tableaux	08
Notations	09
Introduction générale	10

CHAPITRE I: GESTION ET TYPOLOGIE DES SYSTEMES

DE PRODUCTION

I.1. Introduction	13
I.2. Gestion de la production	13
I.2.1. Définition de la gestion de la production	13
I.2.2. Evolution de la production	14
I.2.3. La fonction et les objectifs de la gestion de production	15
I.2.4. La gestion de production et les flux	17
I.2.4.1. Notion des flux	17
I.2.4.2. Politiques de pilotage des flux	18
I.2.5. Place de la gestion de production dans l'entreprise sous les différentes contraintes	19
I.2.5.1. Les contraintes commerciales.	20
I.2.5.2. Les contraintes de production minimale.	20
I.2.5.3. Le respect des proportions entre les produits	20
I.2.5.4. L'existence de facteurs rares.	20
I.2.5.5. Les contraintes économiques.	20
I.2.6. Accouplement de la production et de la maintenance	22
I.2.7. Niveaux de décisions	23
I.2.7.1. Les décisions stratégiques	23
I.2.7.2. Les décisions tactiques	24
I.2.7.3. Les décisions opérationnelles	24
I.2.8. Stratégie de produit	27
I.3. Typologie des systemes de production	29
I.3.1. Stratégie de procédé	29
I.3.1.1. Job Shop	29

I.3.1.2. Flow Shop.....	29
I.3.1.3. Fixed site	29
I.3.2. Classification les systèmes de production.....	29
I.3.2.1. Classification selon la nature de la production.....	30
I.3.2.2. Classification selon le mode de production.....	30
I.3.2.3. Classification selon le type de production.....	32
I.3.2.4. Classification selon la relation avec le client.....	33
I.3.3. Techniques de juste à temps (JAT)	35
I.3.3.1. Origine et principe du JAT.....	35
I.3.3.2. Objectifs et approches du JAT.....	37
I.3.3.3. Facteurs clés du JAT.....	38

CHAPITRE II: PREVISION DE LA DEMANDE ET GESTION D'APPROVISIONNEMENT

II.1.Introduction.....	40
.....	
II.2. Techniques de prévision de la demande	41
II.2.1. Objectifs et contraintes.....	41
II.2.2. Types de techniques de prévision	42
II.2.2.1. Techniques qualitatives.....	42
II.2.2.1.1. Méthode DELPHI.....	43
II.2.2.1.2. Les études de marché.....	43
II.2.2.1.3. Les opinions des gestionnaires et des vendeurs.....	43
II.2.2.1.4. L’analogie avec des situations passées.....	43
II.2.2.2. Techniques quantitatives.....	43
II.2.3. Méthodes de prevision (Politiques de pilotage de flux)	44
II.2.3.1. Politiques de pilotage par renouvellement de la consommation.....	45
II.2.3.1.1. Politiques de gestion de stock classiques.....	45
II.2.3.1.2. Politiques de type Kanban.....	46
II.2.3.2. Politiques de pilotage basées sur les besoins futurs.....	48
II.2.3.2.1. Méthode MRP (Material Requirements Planning).....	48
II.2.3.2.2. Politiques de gestion de stock sur prévisions.....	52

II.3. Gestion d'approvisionnement	53
II.3.1. Définitions et problématiques des stocks	53
II.3.2. Gestion des stocks	55
II.3.2.1. Quantité économique	57
II.3.2.1.1. Coûts associés	58
II.3.2.1.2. Détermination de la quantité économique	58
II.3.2.2. Stock de sécurité	60
II.3.2.3.1. Approche statistique	60
II.3.2.3.2. Approche géométrique	62
II.3.2.3 . Politiques de gestion de stock	62
II.3.2.3.1. Méthode de réapprovisionnement à dates fixes, quantités fixes	64
II.3.2.3.2. Méthode de rechargement périodique (dates fixes, quantités variables)	65
II.3.2.3.3. Méthode du point de commande (dates variables, quantités fixes)	66
II.3.2.3.4. Méthode à quantités et dates variables	67

CHAPITRE III: PROCESSUS DES MODELES DE GESTION PROPOSES

III.1. Introduction	69
III.2. Présentation de la première approche proposée (Moyenne dynamique instantané de consommation)	70
III.2.1. L'influence de la moyenne dynamique instantanée sur la méthode de réapprovisionnement à point de commande	70
III.2.1.1. Cas où il y a un abaissement de production (diminution de consommation)	70
III.2.1.2. Cas où il y a une augmentation le rythme de production (augmentation de consommation)	72
III.2.1.3. Cas où il y a un abaissement et une augmentation de consommation itérativement	74
III.2.2. L'influence de l'approche proposée "Moyenne dynamique instantanée" sur la méthode de rechargement périodique	76
III.2.2.1. Cas ou il ya un accroissement de consommation	76
III.2.2.2. Cas ou il y a abaissement de la consommation	78
III.2.2.3. Cas où il y a un abaissement et une augmentation de consommation itérativement	79
III.3. Présentation de la deuxième approche proposée (Moyenne dynamique instantanée du délai d'approvisionnement)	80

III.3.1. L'influence de la moyenne dynamique instantanée du délai d'approvisionnement sur la méthode de réapprovisionnement à point de commande	81
III.3.1.1. Cas où il y a augmentation du délai de livraison.....	82
III.3.1.2. Cas où il y a diminution du délai de livraison.....	84
III.3.4.Conclusion.....	86

CHAPITRE IV: APPLICATIONS POUR VALIDATION

IV.1. Introduction	89
IV.2. Application 01: La méthode d'approvisionnement à point de commande.....	89
IV.2.1. Résultats	90
IV.2.2. Discussions.....	94
IV.3. Application 02: La méthode d'approvisionnement de rechargement périodique.....	95
IV.3.1. RESULTATS	97
VI.3.2. Discussion.....	100
IV.4.Conclusion.....	101
V.Conclusion générale	102
Résumé	104
Références bibliographiques	107

Liste des figures

Fig.I-1. Interactions entre système de production, système de gestion et environnement.....	16
Fig.I-2. Les flux informationnels et physiques	18
Fig.I-3. La gestion de production et les autres fonctions de l'entreprise.....	21
Fig.I-4. Types de maintenance	22
Fig.I-5. Structure décisionnelle à trois niveaux.....	25
Fig.I-6. Différents niveaux de décision dans la chaîne logistique.....	26
Fig.I-7. Structure des produits.....	28
Fig.I-8. Modèle d'une production hybride	31
Fig.I-9. Boucle de régulation du système de production	34
Fig.II-1. Le pilotage de flux dans la chaîne logistique.....	42
Fig.II-2. Différentes techniques de prévision	44
Fig.II-3. Classification des politiques de pilotage de flux en fonction du type de l'information sur demande	45
Fig.II-4. Schéma d'une politique de gestion de stock classique.....	46
Fig.II-5. Pilotage par la politique Kanban	47
Fig.II-6. Structure d'un MRP	50
Fig.II-7. Les bonnes raisons d'avoir du stock	55
Fig.II-8. Evolution du stock avec réception instantanée.....	57
Fig.II-9. Courbe des coûts	59
Fig.II-10. Evolution du stock avec une réception non instantanée.....	60
Fig.II-11. Réapprovisionnement à dates fixes et quantités fixes	64
Fig.II-12. Méthode du rechargement périodique.....	65
Fig.II-13. Evolution du stock avec une réception instantanée.....	66
Fig.III.1. Evolution d'un stock en cas de baisse de consommation par la méthode à point de commande classique.....	70
Fig.III.2. Evolution d'un stock en cas de baisse de consommation par la nouvelle approche.....	72
Fig.III.3. Evolution d'un stock en cas d'augmentation de consommation par la méthode à point de commande classique	73

Fig.III. 4. Evolution d'un stock en cas d'augmentation de consommation par la nouvelle approche.....	73
Fig.III.5. Evolution d'un stock en cas d'augmentation et de diminution de consommation par la méthode à point de commande classique.....	74
Fig.III.6. Evolution d'un stock en cas d'augmentation et de diminution de consommation par la nouvelle approche.....	75
Fig.III.7. Evolution d'un stock en cas d'accroissement le rythme de consommation par la méthode de reapprovisionnement périodique classique.....	76
Fig.III.8. Evolution d'un stock en cas d'accroissement le rythme de consommation selon l'approche proposée.....	77
Fig.III.9. Evolution d'un stock en cas d'abaissement le rythme de consommation selon la méthode de reapprovisionnement périodique classique.....	78
Fig.III.10. Evolution d'un stock en cas d'abaissement le rythme de consommation selon l'approche proposée.....	79
Fig.III.11 Evolution d'un stock en cas d'augmentation le délai de livraison suivi par la méthode à point de commande classique.....	82
Fig.III.12. Evolution d'un stock en cas d'augmentation le délai de livraison suivi par l'approche proposée.....	84
Fig.III.13. Evolution d'un stock en cas de réception des commandes avancées suivi par la méthode à point de commande classique.....	85
Fig.III.14. Evolution d'un stock en cas de réception des commandes avancées suivi par la proche proposée.....	86
Fig.IV.1. Evolution du stock par les deux méthodes de réapprovisionnement durant les trois mois.....	94
Fig.IV.2. Evolution du stock selon la méthode utilisée et l'approche proposée.....	100

Liste des tableaux

Tableau.II-1. Tableau MRP.....	49
Tableau.II-2. Différents politiques d'approvisionnement.....	63
Tableau.IV-1. Evolution du stock durant le 1 ^{er} mois selon l'approche classique et l'approche proposé	91
Tableau.IV-2. Evolution du stock durant le 2 ^{ème} mois selon l'approche classique et l'approche proposé	92
Tableau.IV-3. Evolution du stock durant le 3 ^{ème} mois selon l'approche classique et l'approche proposé	93
Tableau.IV-4. Evolution du stock durant 90 jours par l'approche de recomplètement classique et l'approche proposée	97

Notations

a	:	Prix d'article
C	:	Client
C	:	Consommation moyenne
$(C_{moy})_i$:	Consommation moyenne instantanée
$C_{réd}$:	Consommation réduite
C_t	:	Coût total
D	:	Demande
D_c	:	Débit de consommation
$e(t)$:	Débit d'entrée
K_i	:	Stock de carte
L	:	Coût de lancement d'un ordre d'achat ou de fabrication
LT_{moy}	:	Lead time moyen (Délai moyen pour la réception d'une commande)
$(LT_{moy})_i$:	Lead time moyen instantané
M_i	:	Machine
N	:	Nombre d'article demandé
p	:	Taux de possession
P	:	Probabilité
PC	:	Point de commande
$(PC)_i$:	Point de commande instantané
PD	:	Programme directeur
PDP	:	Programme directeur de production
PIC	:	Plan industriel et commercial
$q(t)$:	Niveau de stock en fonction de t
Q_e	:	Quantité économique
$(Q_d)_i$:	Quantité disponible à t_i
$(Q_r)_i$:	Quantité de rechargement à t_i
R_R	:	Rythme de production
$s(t)$:	Débit de sortie
S_i	:	Stock de matière première (pièce d'approvisionnement)
SS	:	Stock de sécurité
T	:	Période d'approvisionnement
T_C	:	Temps de consommation
t_i	:	Temps instantané
T_P	:	Temps de production
$(t_l)_i$:	Temps de lancement à t_i
$(t_r)_i$:	Temps de réception à t_i
σ	:	Ecart type

Introduction générale

Depuis les dernières décennies, l'environnement industriel a pris une tendance progressive fortement compétitive, d'où la survie de n'importe quel système de production est en jeu.

La concurrence mondialisée et les marchés ouverts ont, en effet, intensifié la compétition entre les entreprises manufacturières. D'un autre côté, les comportements de consommation des clients sont devenus fluctuants et difficiles à prévoir, d'où une mauvaise visibilité des ventes, et en conséquence de production.

A partir de là, les entreprises sont confrontées à une demande de plus en plus variable et fortement influencée par de nombreux facteurs circonstanciels, qui les obligent à s'adapter au marché, ce qui est affirmé par Thomas et al.[3], "Les pressions concurrentielles croissantes et la mondialisation des marchés obligent les entreprises à développer des chaînes d'approvisionnement capables de répondre rapidement aux besoins des clients". Cela doit se faire par amélioration continue du système de production, satisfaisant ainsi les exigences du client qui veut une qualité parfaite, un prix minimum et un délai de livraison plus court.

Les entreprises se penchent, à cet effet, sur l'organisation de leurs chaînes logistiques, en orientant leurs efforts vers le développement de nouvelles approches de pilotage des flux. Ceci est réalisable par une gestion de production prenant en considération les différentes contraintes et les objectifs de l'entreprise, avec le but de maintenir l'équilibre entre : les délais, le niveau d'emploi des ressources et le niveau des encours et des stocks. .

Objectifs

Notre travail de recherche vise un double objectifs. Le premier objectif est de donner une vision globale sur la gestion de production et les méthodes de pilotage de flux dans une chaîne logistique en mettant en évidence leurs similarités et leurs différences.

Le second objectif consiste à proposer deux nouveaux modèles de gestion qui sont des extensions des politiques de gestion de réapprovisionnement classique, il s'exprime par le passage aux politiques de pilotage basées sur la consommation moyenne dynamique instantanée $(C_{moy})_i$ du système de production et sur le délai de livraison dynamique $(LT_{moy})_i$.

Organisation de la thèse

Ce mémoire de thèse est organisé de la manière suivante:

- Le premier chapitre est divisé en deux sections. On présente dans la première section les notions de base de la gestion de production permettant de comprendre les fonctions et les

objectifs des entreprises. La deuxième section s'intéresse à la typologie des systèmes de production avec les différentes classifications;

- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la prévision de la demande et ses différentes techniques, ainsi les objectifs de l'étude. Dans la première section, nous présentons la structure de la chaîne logistique étudiée et les décisions qui y sont associées, la deuxième section est dédiée à l'étude de la gestion d'approvisionnement et ses méthodes.

- Dans le troisième chapitre, nous présentons les principes des processus des modèles proposés.

Afin de valider les modèles proposés, un quatrième chapitre est consacré exclusivement à l'expérimentation de ces modèles, en prenant le cas de deux entreprises représentatives des systèmes de gestion de stock, ALFAPIPE unité d'Annaba pour la première application, et SARL DELIBA pour la deuxième application.'

Au terme de l'étude, une conclusion générale est établie.

Chapitre I

Gestion et typologie des systèmes de production

CHAPITRE I: GESTION ET TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION

I.1. Introduction:

Ce chapitre a pour objectif de positionner notre recherche dans le vaste rayon des travaux portant sur la gestion des systèmes de production. Notre axe de recherche se centralise sur la définition d'un outil d'aide à la décision pour la planification de la production dans un cadre de chaîne logistique, et précisément vise le système d'approvisionnement. Ce chapitre est divisé en deux sections, nous présentons les principales méthodologies issues d'un état de l'art des recherches académiques.

Nous débutons la première section de ce chapitre, par les notions de base de la gestion de production permettant de comprendre les fonctions et les objectifs des entreprises, suivi par une clarification de la position de la gestion de production dans les systèmes de production sous les différentes contraintes.

Ensuite, nous présentons les différents niveaux de décision avec les différents éléments qui contribuent à la stratégie globale de l'entreprise à travers la fonction de la production.

Dans la deuxième section, nous présentons les différentes stratégies des procédés des systèmes de production, ainsi les diverses classifications issues d'un état de l'art des recherches académiques.

I.2. Gestion de la production

I.2.1. Définition de la gestion de production

Afin de donner une définition à la gestion de production, il est indispensable d'abord de déterminer le sens de la production;

Selon Gaspart [4], la production est un acte de transformation de ressources (humaines ou matérielles) en vue de la création des biens ou des services :

- La production d'un bien s'effectue par une succession d'opérations consommant des ressources et transformant les caractéristiques de la matière. Un exemple classique est la production de tubes.
- La production d'un service s'effectue par une succession d'opérations consommant des ressources sans qu'il n'y ait nécessairement transformation de matière. Des exemples

classiques sont: la mise à disposition de produits aux consommateurs (la vente), le traitement de dossier (par un notaire), et la maintenance d'équipements.

On peut alors définir la gestion de production comme suit.

La gestion de la production consiste en la recherche d'une organisation efficace de la production des biens et des services.

La gestion de production consiste donc à l'obtention d'un produit donné dont les caractéristiques sont connues en mettant en œuvre un minimum de ressources. [4]

En gestion de production, on considère, généralement comme données, les caractéristiques du produit suivantes :

- ✓ la définition du produit;
- ✓ le processus de fabrication;
- ✓ la demande à satisfaire.

Les outils de la gestion de la production sont un ensemble de techniques d'analyse et de résolution des problèmes de manière à produire au moindre coût.

G.Javel [5] résume la définition du fonction de la gestion de production comme suit : « elle consiste à produire, en temps voulu, les quantités demandées par les clients dans des conditions de coût de revient et de qualité déterminés en optimisant les ressources de l'entreprise de façon à assurer sa pérennité, sa compétitivité et son développement ».

I.2.2. Evolution de la production

Selon Courtois [6] et Babai [9], on distingue quatre périodes qui marquent chacune évolution de la production industrielle :

1^{ère} période : les débuts de l'industrie (à partir de la fin du 19^{ème} siècle), la production est alors proche de l'artisanat : faibles quantités, grande diversité, personnel très qualifié.

2^{ème} période : de la première guerre mondiale à 1975, période incluant les fameuses "Trente glorieuses" de l'industrie de 1945 à 1975, pendant laquelle la demande est très importante, et même supérieure à l'offre. Les marges sont confortables et les principales caractéristiques de la production sont les suivantes : fabrication en très grandes séries, faible diversité (on connaît la phrase d'Henry Ford " le client qui désire une Ford T peut demander n'importe quelle couleur, pourvu qu'elle soit noire"), personnel peu qualifié, travail découpé en tâches élémentaires simplifiées et rapides pour garantir un enchaînement rapide des opérations.

Dans ce contexte, pour que l'entreprise existe, il suffit de *produire puis vendre*.

3^{ème} période : durant cette période transitoire, de 1975 à 1985, l'offre et la demande s'équilibrent, le client à le choix du fournisseur. C'est l'après choc pétrolier, qu'il était nécessaire de faire des prévisions commerciales, d'organiser les approvisionnements et de réguler les stocks. Il faut alors *produire ce qui sera vendu*.

4^{ème} période : depuis la fin des années 70, les marchés sont devenues fortement concurrentiels et surtout se sont mondialisés. L'offre est supérieure à la demande et de nouvelles contraintes apparaissent : maîtrise des coûts, qualité, délais de livraisons courts et fiables, produits personnalisables et à faible durée de vie,... Les séries sont toujours importantes, mais très diversifiées.

Des pays comme le Japon sont les précurseurs de l'utilisation de nouvelles méthodes dont le mot clé est le "*juste a temps*". L'entreprise doit tendre à *produire ce qui est déjà vendu*.

Dans le contexte de la 4^{ème} période définie précédemment, l'entreprise est face à plusieurs difficultés :

- Evoluer dans un marché volatile, mal maîtrisé, où les clients sont imprévisibles, infidèles à une marque et sensibles au délai ou à son respect, à la qualité, au service après-vente.
- Trouver des compromis entre stocks minimums, délais minimums et aléas minimums.
- Réduire les coûts de production, limiter les investissements, et disposer de ressources flexibles.

I.2.3. La fonction et les objectifs de la gestion de production

Selon Gaspart [4], Blondel définit la Gestion de Production comme la fonction qui permet de réaliser les opérations de production en respectant les conditions de qualité, délai, coût qui résultent des objectifs de l'entreprise et dont le but est d'assurer l'équilibre entre :

- ❖ le taux d'emploi des ressources,
- ❖ le niveau des encours et des stocks,
- ❖ les délais.

D'après G.Javel [5], Molet, remarque justement que cet équilibre est très difficile à obtenir puisque l'on veut réduire en même temps les stocks, les délais et les pannes tout en accroissant la flexibilité, la variabilité des produits,... autant d'objectifs complexes, multiples mais souvent contradictoires et dont l'importance relative peut varier à chaque moment. Il en conclut d'ailleurs que "la gestion de production reste, malgré les apports des outils, la gestion des compromis".

Selon Courtois [6], l'objectif principal de la Gestion de Production est de gérer les flux de matières et d'informations par rapport aux objectifs prioritaires définis par la Direction Générale de l'entreprise. La figure (1-2) montre l'ensemble des flux que gère la gestion de production.

On sépare généralement le système de gestion où circule un flux d'informations, du système de production par lequel transite un flux de matières.

Les interactions entre le système de gestion, le système de production et son environnement extérieur peuvent être schématisée par la figure(I-1).

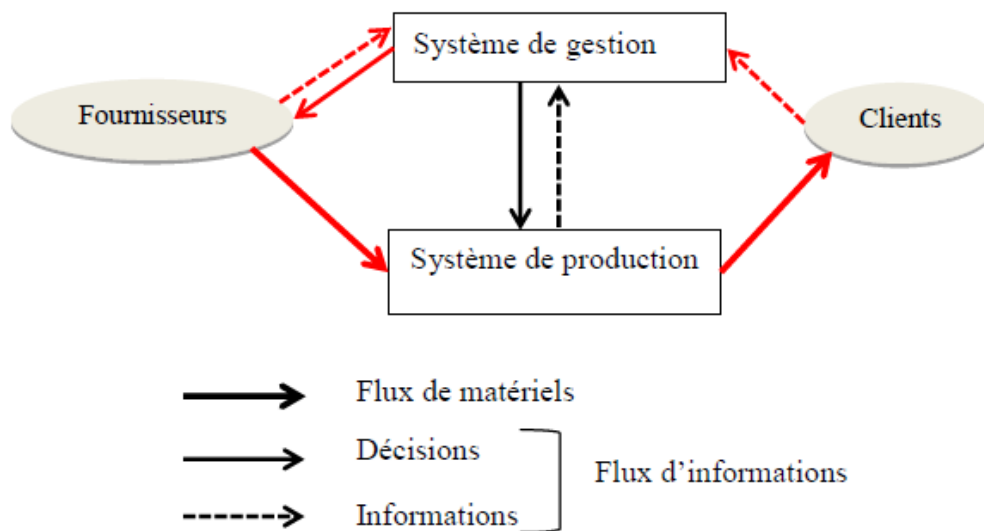


Fig.I-1. Interactions entre système de production, système de gestion et environnement [7]

Dans notre travail, nous nous focalisons sur les objectifs de la production. Ils répondent à une stratégie de production laquelle est définie par Swamidass et Newell [8] comme : " les différentes compétences de la fonction de production utilisées pour la poursuite d'un avantage compétitif ". De cette manière, il est nécessaire de définir des mesures de performance qui permettent de déterminer à quel niveau les objectifs dans la production sont atteints. Nous présentons donc différents objectifs qui font l'objet de la définition de différentes contraintes citées précédemment.

Ces objectifs sont atteints à travers la politique de gestion des différents flux du système.

Dans la section suivante, nous présentons différentes politiques de production qui déterminent la gestion des différents flux du système, plus spécifiquement des flux physiques et d'information.

I.2.4. La gestion de production et les flux

I.2.4.1. Notion des flux

Selon Courtois[6] et Babai[9], la notion de flux est synonyme de mouvement, de circulation, d'évolution, de rapidité et donc d'efficacité. Ces flux sont de trois natures : flux physiques, flux d'information et flux financiers. Cette classification par flux est très utilisée dans la littérature.

- *Les flux physiques* concernent les flux de matières (matières premières, produits finis, en-cours..) qui vont dans le sens de l'amont vers l'aval. Dans le cas d'un système en boucle fermée avec récupération d'emballages, des produits en fin de vie ou d'autres éléments nécessaires à la distribution au client, le sens de ce flux est aussi de l'aval vers l'amont.

- *Les flux financiers* sont les flux associés aux flux physiques et représentent les transferts monétaires entre les différents acteurs du système.

- *Les flux d'information* comportent des données associées aux flux physiques et financiers qui répondent aux questions : quoi ? quand ? combien ? et comment ? (Exemples : quantité de pièces à réapprovisionner, moyen de paiement, quantité de pièces dans les stocks...). En général, ces flux s'écoulent de l'amont vers l'aval ou de l'aval vers l'amont ([10]).

Une autre classification des flux est proposée par Fontanili [11], selon la localisation des flux dans le système. Les flux externes sont ceux associés à l'approvisionnement et à la distribution et les flux internes font l'objet de la gestion de production.

Le pilotage est alors défini par Dallery et Véricourt [12] comme « ...l'ensemble des règles de gestion de production (règles qui répondent principalement aux questions "quand, où et que produire ?") ».

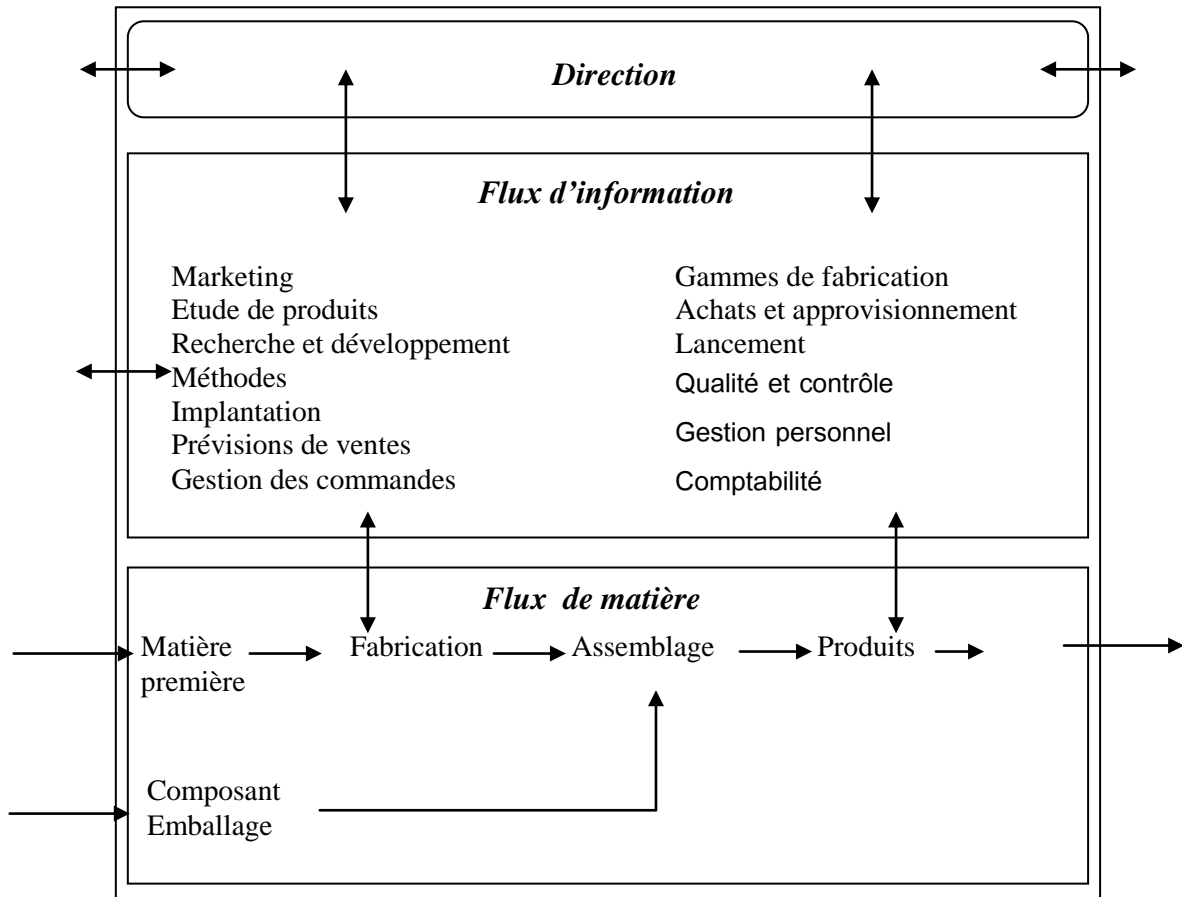


Fig. I-2. Les flux informationnels et physiques [6]

Le pilotage des systèmes de production vise donc à coordonner les différents types de flux entre les ressources (matériels et humains) du système, en respectant les contraintes de coût, de qualité et de délais. Nous délimitons notre étude au pilotage des flux physiques et d'information et présentons dans ce qui suit les politiques de pilotage de ces flux dans les systèmes de production.

I.2.4.2. Politiques de pilotage des flux

Les politiques de pilotage de la production ont pour objectif de coordonner les flux physiques et les flux d'information tout en garantissant un niveau de service et en minimisant les coûts.

Dans la littérature, nous trouvons différentes politiques de pilotage des flux dans la production. De nombreuses classifications ont été faites:

- Politiques de pilotage *réactives* et politiques de pilotage *proactives* [13],
- Politiques de pilotage à *flux tirés* et politiques de pilotage à *flux poussés* [14]
- Ou encore politiques de pilotage suivant le type d'information de la demande [9].

Nous constatons que différentes appellations donnent lieu à un même type de classification.

C'est le cas pour les politiques réactives ou à flux tirés et les politiques proactives ou à flux poussés.

Ces politiques suivent le même principe, elles sont donc équivalentes indépendamment de l'appellation qu'elles reçoivent. Les premières répondent à des demandes réelles et les deuxièmes à des prévisions de la demande.

Les politiques de pilotage à flux tirés ou réactives déclenchent un ordre de production ou un ordre de réapprovisionnement en réponse à l'arrivée d'une demande réelle (du client ou des étapes de fabrication en aval). Dans ces politiques, la production est tirée par les étapes en aval du processus de fabrication. Alors que dans les politiques de pilotage à flux poussé, le déclenchement de ces ordres est fait en réponse à des estimations ou des prévisions de la demande. La production est donc poussée de l'amont vers l'aval, sans tenir compte de la capacité de traiter les ordres par l'étape en aval.

La deuxième classification est basée sur l'information de la demande [9]. Ainsi, si l'information des demandes est fiable par rapport aux quantités et dates de besoin, elles sont appelées *commandes fermes*. Si l'information de la demande est incertaine, l'information de la demande est donnée par des *prévisions*. Le dernier niveau de cette classification correspond au cas où il n'y a aucune ou peu d'information sur la demande.

Un autre type de politique de pilotage est ajouté à cette classification : politiques de pilotage *hybrides*. Elles sont hybrides puisqu'elles combinent les avantages des politiques à flux poussés et à flux tirés pour créer de nouvelles politiques de contrôle de flux dans la production. Ainsi, par exemple, une politique de pilotage à flux poussés peut s'utiliser en amont de la chaîne de production lorsque les délais de fabrication sont importants et une politique de pilotage à flux tirés peut être utilisée en aval. Ces politiques sont basées sur un point de basculement entre la production à la commande et la production par anticipation[12].

I.2.5. Place de la gestion de production dans les systèmes de production sous les différentes contraintes

La gestion de production a toujours en vue la satisfaction de la demande de produits réalisés par une entreprise manufacturière (industries agro-alimentaires, ...) en incorporant dans la démarche de nombreuses *contraintes* :

- Les processus de fabrication ;
- Les coûts;

- La qualité des produits;
- Les délais;
- La demande des clients;
- Le personnel nécessaire;
- L'infrastructure;
- L'approvisionnement en matières premières.

I.2.5.1. Les contraintes commerciales.

Les contraintes commerciales sont, par exemple liées au plafonnement des ventes. Un seuil ou niveau de production ne doit pas être dépassé

I.2.5.2. Les contraintes de production minimale.

La contrainte de production minimale assure la présence de l'entreprise sur le marché et répond à un souci de diversification.

I.2.5.3. Le respect des proportions entre les produits.

C'est le cas pour des produits d'appel à faible marge, associés à des produits à forte marge.

I.2.5.4. L'existence de facteurs rares.

Il peut exister des contraintes de production relatives aux moyens mis en œuvre (facteurs rares):

- Approvisionnements limités en matières premières;
- Nombre limité d'heures disponibles;
- Limitation du temps de fonctionnement des machines;

I.2.5.5. Les contraintes économiques.

Il peut s'agir de contraintes:

- De maximisation du chiffre d'affaires,
- De maximisation des marges et des résultats bénéficiaires,
- De minimisation d'un coût.

En relation avec les diverses fonctions de l'entreprise, la gestion de production se trouve fréquemment confrontée à des objectifs contradictoires.

Examinons, par exemple, les contraintes liées à l'interface fonction commerciale-fonction de production.

Contraintes au niveau du temps

- service commercial: les délais doivent être les plus courts possibles ;
- service fabrication : il faut du temps pour fabriquer des produits fortement différenciés, il faut du temps pour fabriquer des produits de qualité.

Contraintes de qualité

- service commercial: un produit est plus facile à vendre s'il est de bonne qualité ;
- service fabrication: un produit de qualité est plus difficile à obtenir.

Contraintes de prix

- service commercial : un produit est plus facile à vendre si son prix est faible ;
- service fabrication : les contraintes de coût sont toujours difficiles à tenir.

Pour cette raison Coutrois [6] mentionne que la gestion de production est «Située au carrefour d'objectifs contradictoires, la gestion de production est une fonction transversale, c'est-à-dire qu'elle est en relation avec la plupart des autres fonctions et la majeure partie des systèmes d'information de l'entreprise. Aussi la gestion de production doit-elle être parfaitement intégrée dans le système informationnel de l'entreprise ».

La figure (I-3) schématise la position de la gestion de production vis-à-vis des diverses fonctions.

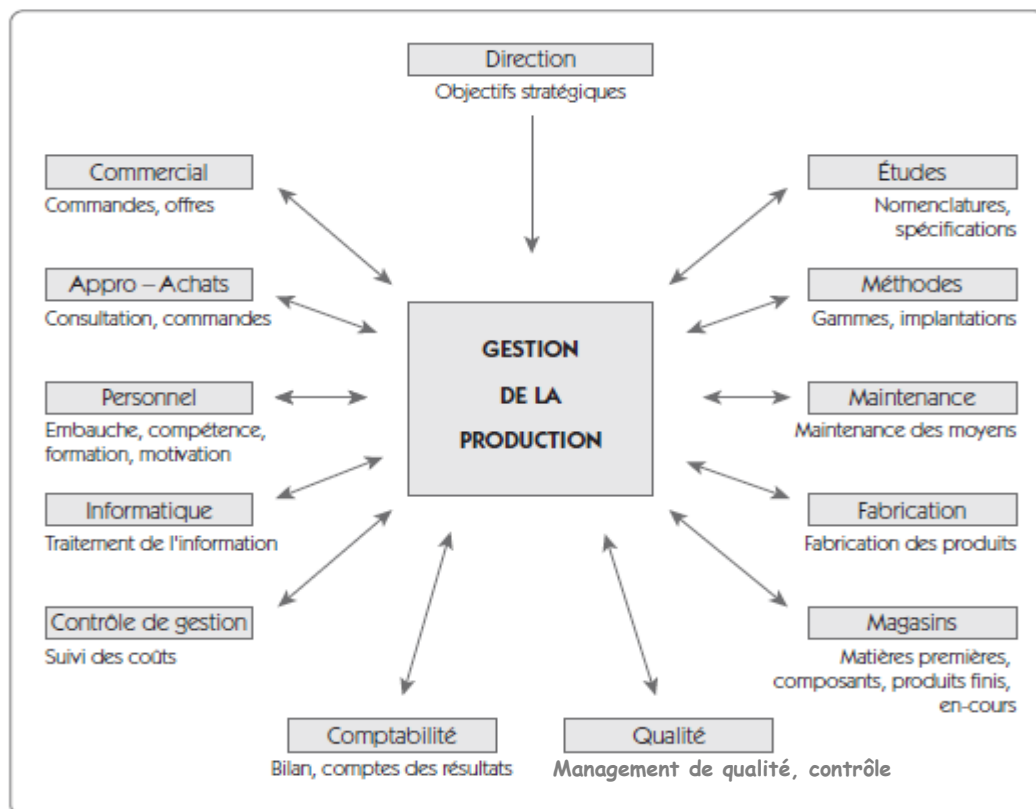


Fig.I-3. La gestion de production et les autres fonctions de l'entreprise [6]

I.2.6. Accouplement de la production et de la maintenance

La gestion de la maintenance et la gestion de la production ont été longtemps considérées comme des problèmes non liés. Cependant, il existe une relation très étroite entre la disponibilité de l'équipement, la productivité des systèmes ainsi que la qualité des produits, puisque la maintenance régulière des ressources améliore la qualité des produits, mais elle réduit le temps opérationnel des systèmes [15]. Cette problématique connue comme maintenance intégrée consiste à coordonner les actions de maintenance et les activités de production.

En effet, la maintenance peut être classifiée en deux grandes familles : maintenance corrective et préventive.

- La maintenance corrective consiste à réparer ou remettre en état de fonctionnement la machine lorsque celle-ci tombe en panne [16].
- La maintenance préventive est définie comme la "maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité des défaillances ou la dégradation du fonctionnement d'un bien" [17].

Ces deux types de maintenance sont divisés à leur tour en d'autres types de maintenance indiqués sur la figure suivante:

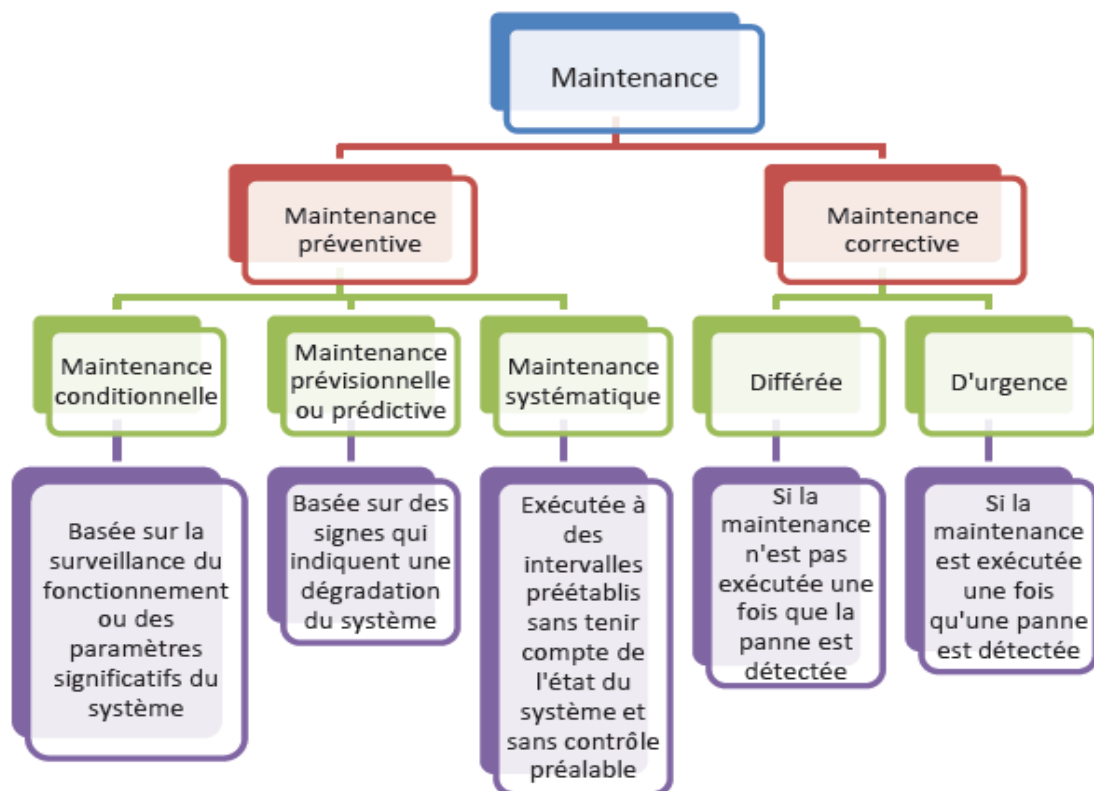


Fig.1-4. Types de maintenance [18]

Dans la littérature qui aborde le problème du couplage de la production et de la maintenance, les stratégies de maintenance les plus utilisées sont la maintenance préventive de type bloc et la maintenance préventive de type âge [19].

- Dans une maintenance préventive de type bloc, une action de maintenance est faite toutes les T unités de temps, indépendamment de l'âge et de l'utilisation du système. Et lorsqu'une panne se produit, une maintenance corrective est faite.

- Dans une maintenance préventive de type âge, une maintenance corrective est réalisée si la machine tombe en panne ou une maintenance préventive est réalisée après une durée d'utilisation sans défaillances. Généralement, les maintenances correctives ramènent la machine à un état de fonctionnement après une défaillance. Les actions de maintenance peuvent être *parfaites* ("as good as new") si le système revient à un état aussi bon que du neuf, *minimales* ("as bad as old") si les actions de maintenance remettent le système dans l'état dans lequel il était juste avant de tomber en panne [20] ou *imparfaites* si après l'action de maintenance le système revient à un état compris entre "as good as new" et "as bad as old"[21].

D'après [22], les maintenances imparfaites sont les plus fréquentes dans la réalité. Les pannes peuvent être *dépendantes du temps* ou *dépendantes des opérations*. Les pannes dépendantes du temps peuvent se produire à n'importe quel moment même si le système ne travaille pas [23].

Les pannes dépendantes des opérations surviennent seulement lorsque le système est en fonctionnement ou dû à son utilisation [12].

I.2.7. Niveaux de décisions

Les décisions dans une entreprise peuvent être classées en trois niveaux:

- Stratégique
- Tactique
- Opérationnel

Ces trois niveaux répondent au degré de répercussion de la décision pour l'entreprise et l'horizon de temps de la décision. Ces trois niveaux vont être présentés ci-après comme suit :

I.2.7.1. Les décisions stratégiques:

Dans ces décisions, Il s'agit de la formulation de la politique à long terme pour l'entreprise. A ce niveau, sont prises toutes les décisions qui visent à diriger l'organisation d'une entreprise. Elles répondent à des objectifs clairs qui sont établis afin d'atteindre la

"Vision" de l'organisation. Elles définissent la relation de l'entreprise avec son environnement. Ces décisions concernent le long terme. L'horizon de planification de ces décisions est généralement supérieur à deux ans. Cependant il peut varier selon le type de production. [24].

Ce niveau de décision s'intéresse aux éléments suivants [4] :

- ❖ la définition du portefeuille d'activités,
- ❖ définition des ressources stables : aussi bien humaines (engagement, licenciement, préretraite, ...) que matérielles (décisions d'investissement, de cession, de fermeture,...).

I.2.7.2. Les décisions tactiques:

Ces décisions sont orientées vers les actions qu'il faut prendre pour atteindre les objectifs stratégiques. Elles traduisent les objectifs exprimés dans la " Vision " de l'entreprise en des actions concrètes. Ces décisions concernent le moyen terme, lequel peut être entre 6 et 24 mois. A ce niveau appartiennent les décisions telles que la planification de la production, la définition des règles d'approvisionnement, le dimensionnement des ressources, le pilotage de la production, la localisation des stocks, etc. [25].

Il s'agit de produire au moindre coût pour satisfaire la demande prévisible en s'inscrivant dans le cadre fixé par le plan stratégique de l'entreprise ou les ressources matérielles et humaines sont connues.

I.2.7.3. Les décisions opérationnelles:

Il s'agit des décisions de gestion quotidienne pour faire face à la demande au jour le jour, Il tient compte des décisions au plus bas niveau. L'horizon de planification de ces décisions peut être compris entre une heure à 6 mois [25].

Ces décisions sont liées aux activités quotidiennes de l'entreprise, par exemple l'affectation des tâches aux opérateurs, l'ordonnancement de tâches dans un atelier, la réduction de la consommation d'énergie, la gestion de stocks, la gestion de la main d'œuvre, la gestion des équipements ...etc.

Selon Boukherroub[10], jusqu'à présent, il n'existe pas une délimitation claire dans le temps entre ces niveaux de décisions. Cependant, le niveau de responsabilité ainsi que le niveau de difficulté sont clairement associés au niveau de décision (stratégique, tactique ou opérationnel). Ainsi, les décisions stratégiques impliquent un plus grand degré de responsabilité et de difficulté que les décisions au niveau tactique et à la fois les décisions tactiques sont plus difficiles et exigent une plus grande responsabilité que les décisions au niveau opérationnel.

Les problématiques abordées dans les travaux de notre thèse appartiennent principalement au niveau de décision tactique.

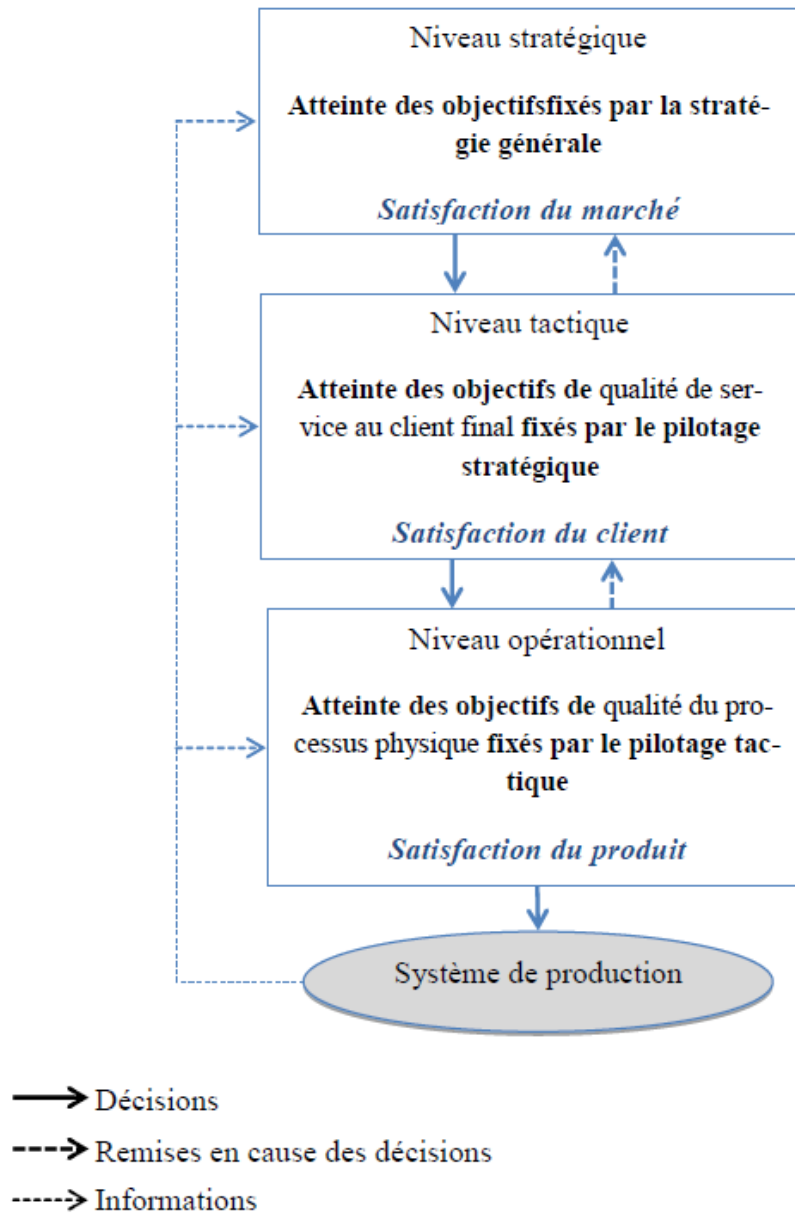


Fig.I-5. Structure décisionnelle à trois niveaux [7]

Chaque niveau de décision a des objectifs associés, lesquels sont définis par rapport à la stratégie de l'entreprise.

Par ailleurs, Dallery (2000) propose une classification plus fine en quatre niveaux que nous adoptons. La figure(1-6) représente les quatre niveaux de décision dans la chaîne logistique ainsi que des exemples de décisions.

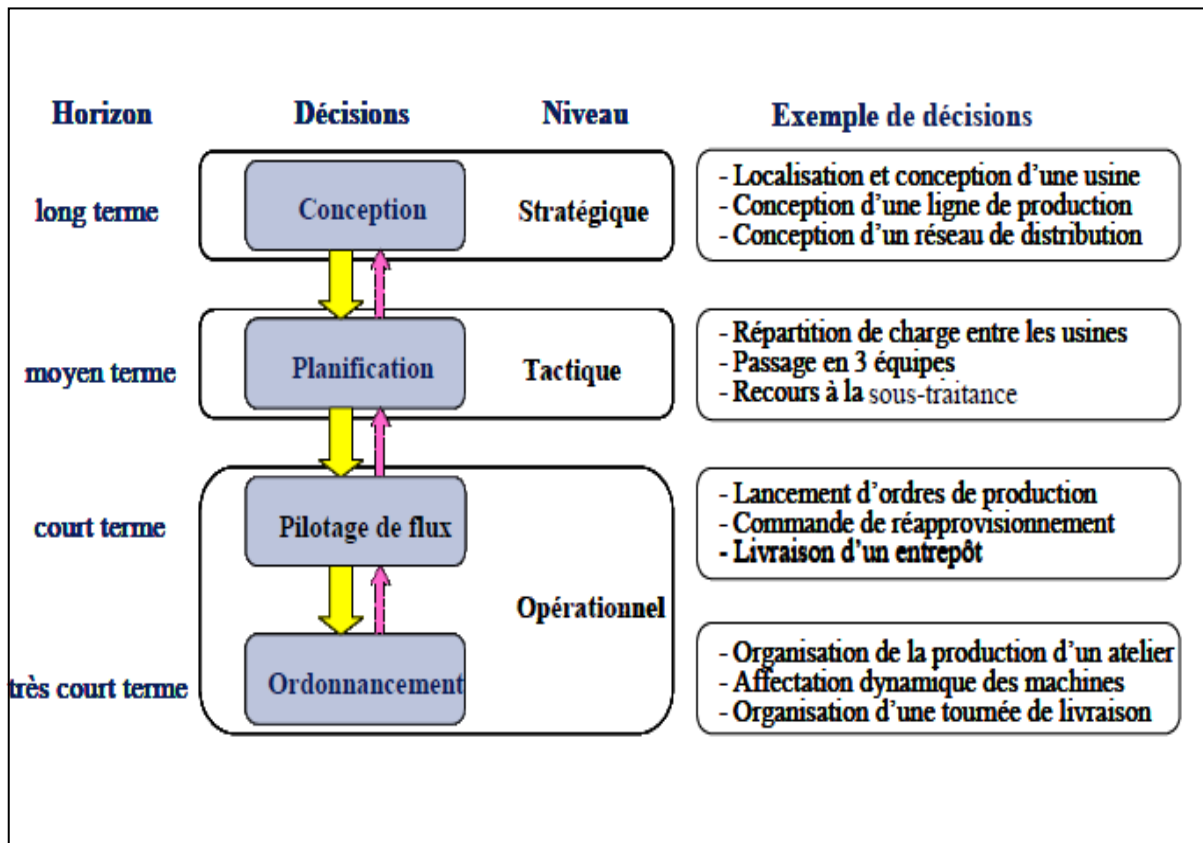


Fig.I-6. Différents niveaux de décision dans la chaîne logistique [9]

Ces classes de décisions de gestion de production se différencient par au moins trois éléments [4]:

★ **par l'horizon de temps considéré, et là :**

- les décisions opérationnelles se prennent au jour le jour,
- les décisions tactiques concernent la planification à 18 mois,
- les décisions stratégiques concernent la planification à long terme.

★ **par le niveau d'agrégation, et là :**

- les décisions opérationnelles se prennent au niveau d'un atelier,
- les décisions tactiques se prennent au niveau d'une usine,
- les décisions stratégiques se prennent au niveau de l'ensemble de l'entreprise.

★ **par le niveau de responsabilité, et là :**

- les décisions opérationnelles sont prises par les agents de maîtrise,
- les décisions tactiques sont prises par les cadres,
- les décisions stratégiques sont prises par la direction générale.

I.2.8. Stratégie de produit

Les facteurs déterminant la stratégie de produit sont les suivants :

- le lead time de la production, c'est-à-dire le temps nécessaire à l'exécution d'une commande;
- le délai acceptable par le marché;
- le degré de personnalisation souhaitée pour les produits.

Les stratégies produit fondamentales sont :

- ❖ *MTS (Make To Stock)* qui correspond à la production de produits standards pour lesquels le marché impose une disponibilité immédiate (exemple: les boites de petits pois);
- ❖ *ATO (Assemble To Order)* qui concerne des produits comportant de nombreuses variantes (qu'on ne peut, par conséquent, pas maintenir en stock) assemblées à partir de sous-ensembles standards en nombre limité; les sous-ensembles sont en général produits en MTS tandis que les produits finaux sont assemblés sur commande (exemple: construction d'automobiles);
- ❖ *MTO ou ETO (Make To Order ou Engineer To Order)* où les produits fortement personnalisés sont construits sur commande (exemple: construction de maisons).

La durée de vie des produits devient, de plus en plus fréquemment, inférieure à la durée de vie des équipements de production. Il est donc indispensable de concevoir ces équipements en sorte de pouvoir les réutiliser pour d'autres productions; leur flexibilité et leur programmabilité prend, dans ce cadre, toute son importance stratégique.

La stratégie MTO est la plus favorable pour le producteur dans la mesure où elle n'impose, le cas échéant, que le stockage de matières premières beaucoup moins coûteux que les produits finis. Le recours à une telle stratégie n'est possible que si l'entreprise réussit à réduire son lead time à une valeur inférieure au délai accepté par le marché.

Structure des produits

On distingue les structures suivantes [4] :

- Structure convergente où les produits finis en variété limitée sont assemblés au départ d'un nombre important de composants eux-mêmes usinés ou formés à partir de matières premières très variées (exemple: moniteurs de télévision);
- Structure divergente qui correspond à un nombre restreint de matières premières et à une abondance de produits finis (exemple: pièces estampées).

- Structure à points de regroupement qui concerne le cas où les produits finis et les matières premières sont en nombre important tandis qu'il n'existe qu'un nombre limité de sous-ensembles intermédiaires (exemple: construction d'automobiles);

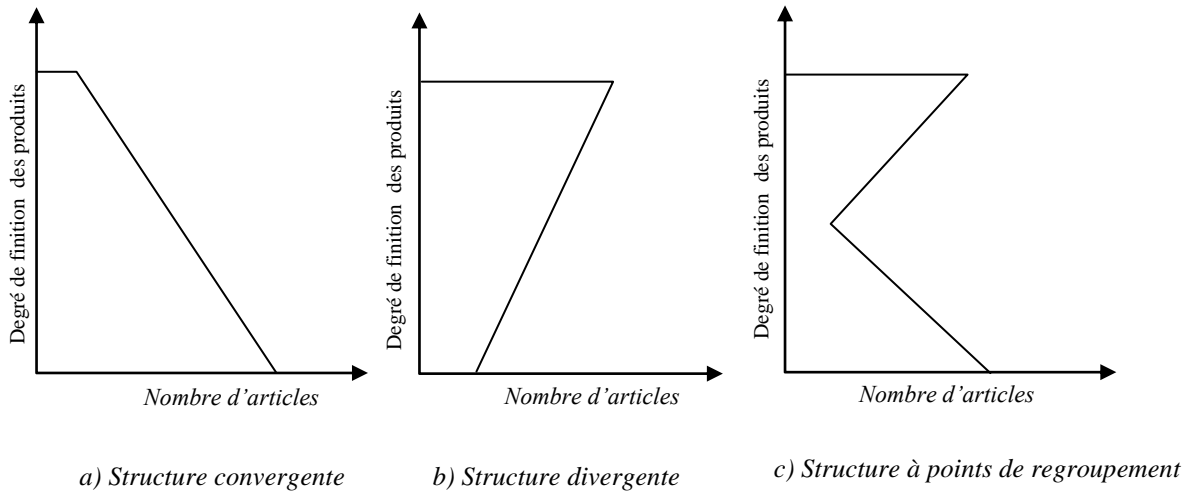


Fig. I-7. Structure des produits [4]

I.3. TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION

Les entreprises industrielles sont caractérisées par la transformation physique d'un input matériel en output (produit). On les différencie selon le produit qu'elles fabriquent ou la méthode de production (process) qu'elles utilisent.

I.3.1. Stratégie de procédé

D'après Gaspart [4] On distingue trois grandes classes de stratégies au niveau du procédé de fabrication:

I.3.1.1. Job Shop:

C'est le cas d'un atelier général, destiné à fabriquer une grande variété de pièces. Les produits circulent de machines en machines suivant un routage correspondant à leur gamme de fabrication, les équipements de production sont groupés fonctionnellement (functional layout) en départements (exemples: fraisage, soudage, assemblage, ..); le job shop est capable de fabriquer une gamme étendue de produits qui, en lots, suivent un chemin spécifique dans l'atelier ;

I.3.1.2. Flow Shop:

Tous les articles suivent le même cheminement. C'est le cas des lignes transférées dédiées où les articles "visitent" systématiquement chaque poste de travail implanté sur la ligne, et toujours dans le même ordre, les équipements de production sont organisés en fonction des produits (product layout); chaque équipement ne fabrique qu'un produit (ou une famille de produits) et est intégré à une ligne de production dédiée à ce produit (ou cette famille de produits) (exemple : l'assemblage d'automobiles); la conception d'un flow shop implique le regroupement d'opérations au sein de stations de travail installées en ligne avec l'équilibrage de ligne;

I.3.1.3. Fixed site :

Qui correspond au cas où le volumineux produit fabriqué est fixe tandis que les équipements de production viennent à lui (exemple : construction navale).

I.3.2. Classification les systèmes de production

Selon G.Javel [5], il existe plusieurs façons de classer une entreprise:

- suivant sa forme juridique;
- suivant sa taille;

- suivant sa structure;
- suivant son secteur d'activité;
- suivant la nature de sa production;
- suivant son mode de production;
- suivant son type de production;
- Suivant sa relation avec le client.

En gestion de production, il est plus courant d'étudier une entreprise suivant les quatre dernières classifications.

I.3.2.1. Classification selon la nature de la production

➤ *Entreprise fournissant des services*

L'activité de l'entreprise est orientée vers la production d'un service, ou d'une prestation intellectuelle, non matérialisée par un produit. Dans ce type d'entreprise, l'outil de production, de type machine-outil, est inexistant. *Exemple* : bureaux d'études...

➤ *Entreprise fabriquant des produits par montage*

Pour réaliser ses produits, l'entreprise achète tout d'abord des éléments manufacturés qu'elle assemble ensuite pour fabriquer les produits finis destinés aux clients. Cette entreprise se caractérise par un outil de production dont les postes de travail n'impliquent pas spécialement des investissements très lourds. *Exemples* : industries de l'électronique,

➤ *Entreprise fabriquant des produits après transformation de la matière*

La fabrication des produits finis de ce type d'entreprise, nécessite une transformation de la matière première (apport, enlèvement, déformation...).

L'outil de production est constitué de postes de travail (machines-outils) de coûts généralement très élevés. La part d'investissement est, de ce fait, très importante.

Exemples: industries de mécanique, industries de l'électronique(fabrication de composants)...

I.3.2.2. Classification selon le mode de production

Le mode de production caractérise le processus de réalisation d'un produit, on distingue:

➤ *Production continue*

La production continue concerne des produits dont le processus de transformation des matières ne doit pas s'interrompre entre deux postes de travail consécutifs, c'est-à-dire sans

stockage intermédiaire entre les postes. On parle souvent dans ce cas « d'industrie de process».

Les procédés de transformation mis en œuvre dans ce type de production imposent des investissements considérables qui ne sont rentabilisés que grâce à un taux élevé d'utilisation et à une très forte automatisation. Dans ce type de production les postes de transformation sont disposés en lignes de produits qui nécessitent un bon équilibrage, c'est-à-dire :

- une vitesse régulière de transformation et de transfert,
- un système d'approvisionnement efficace.

On a recours à ce type de production lorsque l'on a un volume important de production et une bonne stabilité de la demande.

Exemple : raffineries de pétrole, cimenteries...

➤ *Production discontinue*

Dans cette production, également appelée « production discrète », chaque produit est réalisé suivant un processus de production qui peut être fractionné pour permettre la reprise de produits semi-finis. La production discontinue peut-être séquentielle ou non.

L'optimisation d'une telle production vise à minimiser les en-cours, les retards... et à maximiser l'occupation des moyens de production.

Exemple : industries manufacturières...

➤ *Production hybride*

La plupart des systèmes de production actuels sont de plus en plus organisés autour d'une chaîne de production fortement automatisée. Un tel système peut alors se décomposer en trois sous-systèmes :

- un sous-système de production discontinue, en amont de la chaîne automatisée de production, chargé de la préparation des composants nécessaires à la production de la chaîne;
- un sous-système de production continue représenté par la chaîne de production;
- un sous-système de production discontinue en aval de la chaîne, chargé de la personnalisation, du conditionnement et de l'expédition des produits finis réalisés par la chaîne. Ces trois sous-systèmes communiquent, entre eux, par un stock suivant le principe suivant :

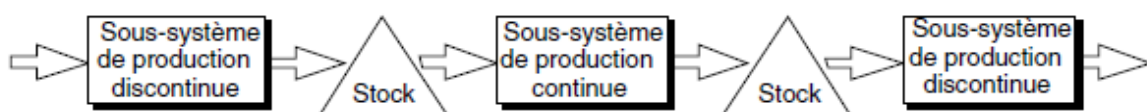


Fig.I-8. Modèle d'une production hybride [5]

➤ *Production en flux poussé / flux tiré*

Dans une production à flux poussé, on fabrique les produits à partir de prévisions de ventes, ou de commandes fermes, et les ordres concernant la fabrication sont transmis de façon à réaliser progressivement les produits.

Dans une production à flux tiré, on fabrique les produits pour remplacer les produits qui ont été vendus. Les ordres concernant la fabrication sont transmis de façon à terminer les produits ou les sous-ensembles déjà en cours de fabrication en fonction de la demande réelle.

I.3.2.3. Classification selon le type de production

Le type de production d'un produit se caractérise par la quantité de produits à fabriquer lancée en une fois et s'applique uniquement dans le cas de production discontinue.

➤ *Production par lot*

Dans ce type de production, le même outil de production est utilisé pour fabriquer une grande variété de produits analogues mais non identiques. Le lot de fabrication peut-être composé de quelques unités à quelques centaines d'unités. Chaque changement de lot de fabrication nécessite un nouveau réglage qui peut aller jusqu'à une reconfiguration complète du poste. Ceci se traduit par un abaissement du taux d'occupation des postes entraînant certainement une augmentation du prix de revient des produits fabriqués.

Malgré ces inconvénients, ce mode de production est utilisé par le plus grand nombre d'entreprises, déterminé en terme de main-d'œuvre directe ou en terme de capital investi, car il offre une plus grande souplesse de réaction face aux demandes des clients.

Exemple : équipements industriels...

➤ *Production unitaire*

C'est un cas particulier de la fabrication par lot. Dans ce type de production, le produit est fabriqué à l'unité, ou en très petite série, conformément à un besoin spécifique. La réalisation de tels produits nécessite généralement beaucoup de main-d'œuvre impliquant un cycle de production relativement long.

Exemple : bâtiments, construction navale, aéronautique...

➤ *Production de masse*

Dans un tel mode, les produits sont fabriqués en très grande quantité. Ce sont des produits standards ou similaires qui nécessitent l'utilisation d'un outil de production spécialisé

constitué de machines « transfert ». Ce sont des machines très onéreuses qui, du fait de leur spécificité, doivent être amorties sur la durée de la fabrication.

Exemple : électroménager, automobiles...

I.3.2.4. Classification selon la relation avec le client

Cette typologie distingue deux catégories de relation avec le client selon Crama[27] et Courtois[6], qui sont la production sur stock et la production sur commande, ou mixte.

➤ **Production sur Stock:**

Une production sur stock est déclenchée par anticipation d'une demande s'exerçant sur un produit dont les caractéristiques sont définies par le fabriquant. Ce type de production s'applique dans les cas suivants où :

- ✓ l'éventail des produits finis est restreint ;
- ✓ la demande des produits est prévisible;
- ✓ le délai de fabrication est supérieur au délai admissible par le client;
- ✓ la saisonnalité du produit est trop forte pour justifier le maintien de ressources en hommes et machines qui seraient excédentaires une bonne partie de l'année.

L'équation qui régit le stock de produits finis est :

Stock de produits finis	=	stock de sécurité	+	quantité de produits fabriqués	-	quantité de produits vendus
----------------------------	---	----------------------	---	-----------------------------------	---	--------------------------------

Le stock de sécurité permet d'amortir les variations de ventes par rapport aux prévisions.

L'objectif est de minimiser ce stock, soit à partir de prévisions de ventes très précises, soit grâce à une très grande réactivité du système de production lui permettant de se réguler par rapport aux ventes effectives

Si les ventes diminuent —————▶ralentir la production.

Si les ventes augmentent —————▶accélérer la production.

La production sur stock repose donc sur une prévision très fine de la demande. L'inertie du système de production pouvant être très importante, il est primordial d'avoir une boucle de retour des ventes effectives très rapide.

On peut assimiler un tel système à une boucle de régulation (fig.II-2). Le système de production est piloté par l'écart entre les ventes effectives et les prévisions :

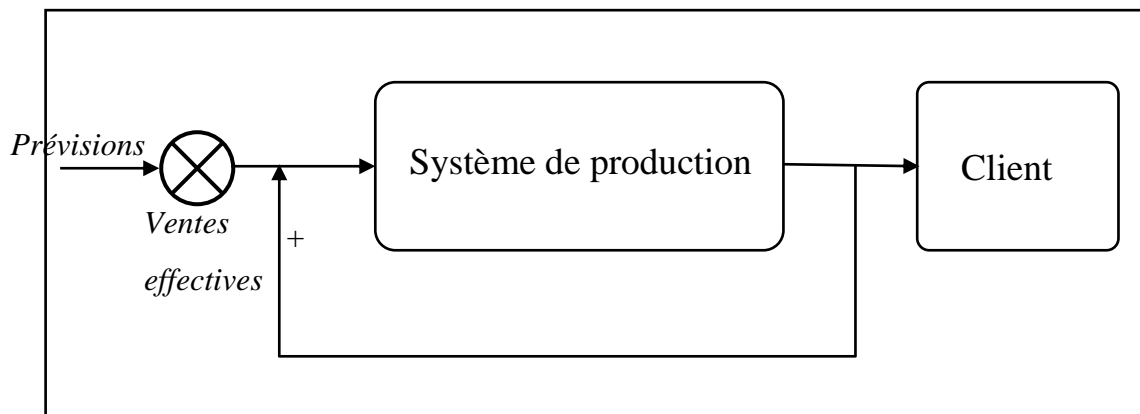


Fig.I-9. Boucle de régulation du système de production [4]

- Si l'écart est positif, l'excédent des ventes est tiré du stock de sécurité.
- Si l'écart est négatif, il faut ralentir ou même arrêter le système afin de ne pas augmenter le stock de produits finis.

Dans les deux cas, il est nécessaire d'augmenter ou de ralentir la cadence de production afin de tendre vers un écart nul entre prévisions et ventes effectives.

➤ **Production sur commande :**

Cette situation semble être la plus favorable à l'entreprise car elle lui permet de produire uniquement sur commande, mais à condition que le délai du cycle (achat + fabrication + assemblage + livraison) soit inférieur ou égal au délai acceptable par le client. En théorie, si la condition précédente est remplie, aucun stock n'est nécessaire.

Dans certains cas où le délai de fabrication est trop long, il est possible d'anticiper l'achat et la fabrication des composants, et de procéder à l'assemblage dès que l'on a une commande ferme. Ceci implique aussi d'avoir de bonnes prévisions de ventes afin de ne pas constituer de stocks excessifs de composants.

On parle alors de Production MIXTE, qui est de plus en plus rencontrée. En effet, dans ce type de production, le produit fini peut être personnalisé le plus en aval possible, tout en étant constitué de composants et sous-ensembles standards.

Le principal inconvénient de la production sur commande ou mixte est l'obligation d'avoir un système de production présentant le minimum d'aléas afin de ne pas perturber les délais. C'est ce type de fonctionnement que l'on appelle aujourd'hui le "JUSTE A TEMPS" (JAT) dont le principe est :

Il faut acheter ou produire seulement ce dont on a besoin, quand on en a besoin.

La différence avec la production sur stock réside dans la chronologie des opérations de ventes et de production :

- ★ Production sur stock : production puis vente,
- ★ Production sur commande : vente puis production.

I.3.3. Techniques de juste à temps (JAT)

Comme on l'a vu, nous sommes maintenant entrés dans une période dans laquelle les entreprises sont amenées à fonctionner en Juste à Temps, avec des productions très diversifiées, sur commande ou mixtes.

Bien que ce contexte semble plus favorable à l'entreprise vis à vis de sa trésorerie, il implique une gestion très précise, une forte réactivité de l'entreprise, une grande rationalisation des équipements de production, une grande maîtrise des flux physiques et informationnels, ...

I.3.3.1. Origine et principe du JAT

Comme le souligne Baglin et al [28], les techniques de juste à temps trouvent leur origine dans les nouvelles exigences du marché :

- ❖ La variabilité de la demande : l'augmentation du nombre de modèles et la diminution de la durée de vie des produits nécessitent une adaptation plus rapide des produits.
- ❖ Le délai admissible par les clients est plus court : on ne peut donc plus produire à la commande.
- ❖ La concurrence internationale impose de produire une bonne qualité à un prix très bas.

En conclusion, il faut produire à la demande du client, sans délai et en comprimant au maximum le coût de fabrication. Il y a donc conflit entre la gestion en grande série (qui permet de réduire les coûts de fabrication) et la gestion à la carte (qui est beaucoup plus souple).[18]

L'idée du JAT est de chercher à concilier les avantages de la grande série (flux rapides et importants) avec ceux de la petite série (grande adaptabilité).

La logique fondamentale du JAT est la suivante : Production = Demande

Autrement dit, on produit la quantité strictement nécessaire aux besoins immédiats du client. Le principe est appliqué de proche en proche jusqu'aux fournisseurs.

Ceci entraîne la suppression des stocks intermédiaires, on parle de gestion en flux tendus. La suppression des stocks apparaît donc comme une conséquence de la logique du JAT.

Ceci va à l'encontre des politiques traditionnelles d'organisation de la production. Le mode d'organisation traditionnel a pour objectif essentiel la recherche de la plus grande productivité du système. Ses conséquences sont :

1. Pour des raisons d'économie d'échelle, on a des unités de fabrication de grande taille organisées en ateliers spécialisés. On a donc des flux importants et discontinus entre ces unités nécessitant des stocks intermédiaires.
2. Pour une raison de coût, on met en place des capacités de production correspondant à la demande moyenne qui sont saturées en permanence : la variabilité de la demande nécessite donc des stocks de produits finis.
3. On lance de grandes séries pour amortir le coût de lancement. Ce qui entraîne aussi des stocks importants.
4. Pour diminuer le coût de manutention, on transporte en grande quantité (camions, containers complets). Ce qui occasionne également des stocks élevés de matières qui ne sont pas immédiatement consommées.
5. Pour découpler les problèmes, on constitue des stocks intermédiaires.
6. A chaque stade du produit, on ajoute un délai d'obtention pour tenir compte des arrêts fréquents (contrôle, maintenance, . . .).

On conclut que chacun a tendance à gonfler les stocks.

Le JAT, devant ce constat, plutôt que d'essayer de gérer l'ingérable, propose de supprimer les stocks. Le fonctionnement en JAT appelle cependant les remarques suivantes :

1. Souvent, les usines ne fonctionnent que partiellement en flux tendus : en flux tendus au moment où l'on personnalise le produit, avec des stocks d'approvisionnement pour les pièces standards.
2. Les flux de production peuvent être tirés non par des commandes clients mais par le plan directeur de production.

3. Le JAT nécessite tout de même l'établissement d'un plan directeur de production et le calcul des besoins.

I.3.3.2. Objectifs et approches du JAT

Le JAT a donc un double objectif avec les approches suivantes :

- augmenter la réactivité du système logistique: diminuer le délai, diversifier la production, . .
- diminuer le coût global de production : en éliminant les gaspillages.

Augmenter la réactivité du système logistique

Le but est ici de pouvoir répondre rapidement aux variations quantitative et qualitative de la demande. Le moyen utilisé est le suivant : pour raccourcir le cycle de fabrication, on réduit les stocks.

- ↻ Pour réduire les stocks de matière première, les fournisseurs doivent livrer plus souvent.
- ↻ Pour réduire les stocks d'en-cours de production, on doit réduire le temps entre ateliers.
- ↻ Pour réduire les stocks de produits finis, on doit pouvoir changer souvent de fabrication.

Remarquons que, pour réduire les stocks, il faut s'attaquer à leur cause : les pannes machines, les temps de réglage longs, etc. . .

La rationalisation de la production

Le but est d'améliorer la performance globale en éliminant les gaspillages. Le principe fondamental est que les seuls temps utiles sont ceux pendant lesquels le produit voit sa valeur s'accroître. Ainsi, les opérations suivantes sont non productives : déplacer, stocker, grouper, contrôler, . . . Pour pouvoir diminuer ces opérations improductives, il faut s'attaquer à leurs causes : les défauts de fabrication, les retards, les pannes, les lenteurs administratives, . . .

On peut ici citer l'image donnée par Taichi Ohno (de Toyota) qui dit que, pour traverser une rivière sans encombre, dans l'approche traditionnelle : on augmente le niveau de l'eau et on passe au dessus des épaves, dans l'approche JAT : on drague le fleuve, ce qui permet un niveau d'eau plus faible.

En conclusions, en s'attaquant aux causes de dysfonctionnement, on améliore la productivité globale du système et on améliore la qualité des produits.

I.3.3.3. Facteurs clés du JAT

La réussite du passage d'une organisation classique à une organisation JAT nécessite des méthodes de gestion très réactives ainsi que la maîtrise des aléas.

➤ *Recherche d'une plus grande réactivité*

On atteindra une plus grande réactivité en augmentant la flexibilité de la production. On peut définir la flexibilité comme la capacité du système de production à s'adapter en permanence à la demande. On distingue deux types de flexibilité :

↳ La flexibilité quantitative qui est la capacité de faire face aux pointes des demandes:

★ il faut surdimensionner la capacité, par exemple, en gardant les anciennes machines lors d'un renouvellement.

★ il faut faire appel à la flexibilité de la main d'œuvre : appel aux temporaires, à la sous-traitance, aux heures supplémentaires, . . .

↳ La flexibilité qualitative qui est la capacité de traiter une grande variété de produits :

★ il faut pouvoir passer rapidement d'un produit à l'autre en utilisant des machines à commandes numériques.

★ la polyvalence du personnel est également souhaitable.

➤ *Maîtrise des aléas*

Il faut ici se prémunir contre les causes des stocks que sont les pièces reçues défectueuses, les pannes machine, ainsi les retards de livraison. On visera ici le zéro défaut pour les pièces fabriquées. En effet, en l'absence de stock, le défaut d'une pièce livrée interrompt la chaîne de montage. Le zéro défaut sera recherché par la prévention plutôt que par le contrôle à posteriori.

Il faut également assurer la fiabilité des équipements. En effet, l'arrêt d'une machine entraîne l'arrêt de toutes les machines en aval faute d'approvisionnement.

De même pour les machines en amont qui, autrement, constitueront des stocks. La fiabilité est obtenue par des procédures de maintenance préventive.

Enfin, il existe relation plus étroite entre le client et le fournisseur car le fournisseur d'une usine JAT est généralement plus conscient des conséquences de l'envoi d'une pièce défectueuse pour le client.

Chapitre II

Prévision de la demande et gestion d'approvisionnement

CHAPITRE II: PREVISION DE LA DEMANDE ET GESTION D'APPROVISIONNEMENT

II.1. Introduction

Une bonne estimation de la demande future est indispensable pour avoir un pilotage des flux efficace dans une chaîne d'approvisionnement, basé sur la réponse immédiate à une demande d'un client. Il est donc nécessaire de développer des prévisions de la demande et de les intégrer dans les modèles de pilotage des flux, en particulier dans les contextes où la demande est très variable.

D'après Thibault Hubert [29] « L'incertitude prévisionnelle est d'une grande importance dans toute décision basée sur des estimations de demandes futures, comme les décisions de planification de la production et de pilotage des flux » c'est pour cela, qu'on constate que le domaine de gestion des flux est très riche en de nombreux travaux, lesquels s'intéressent à améliorer les différentes méthodes de prévision, ce qui incite Giard et Sali [30] dans leur travail étendu à celui de Huang et al.[31] à donner une idée générale sur les différents articles s'intéressant à ce sujet. Les prévisions par nature sont rarement exactes, il est donc important d'avoir la meilleure qualité de prévision possible. Par conséquent, différents modèles de prévision ont été développés par le passé, notamment dans le domaine statistique. Brown [32] est parmi les premiers qui ont entamé le sujet de l'incertitude prévisionnel et son influence sur le rendement d'une chaîne logistique, en conséquence son influence sur le prix de revient du produit fini, ce qui confirmé par Oussama Ben Ammar [33], L'auteur dans son travail, mentionne que dans un milieu incertain, la planification de la production ainsi l'approvisionnement sont incertains, il conclut que « la résolution du problème ne dépend pas seulement de la méthode et du nombre de niveau, mais aussi de la rupture en produits finis », ainsi Nicolas et Thomas [34] ont montré qu'il existe des cas où les comportements de protection et de prévision sont complémentaires.

Par contre, dans l'article de Laurent Buzan et al. [35], les auteurs ont constaté que la perfection de l'exploit global de la chaîne logistique est liée à l'efficacité au mode de circulation du flux informationnel et l'échange inter entreprise, ils ont proposé un modèle dans ce sens.

Ce chapitre est divisé en deux section, dont la première est consacré pour l'étude des différentes techniques de prévisions, et la deuxième section mettre en évidence les méthodes et les politiques de pilotage afin d'empêcher les conséquences de diverses contraintes.

II.2. TECHNIQUES DE PREVISION DE LA DEMANDE

II.2.1. Objectifs et contraintes

Selon Babai [9], La notion de pilotage de flux a connu une évolution très importante à travers le temps. Cette évolution a suivi celle de la notion de chaîne logistique. Le pilotage de flux se limitait au début, à l'ensemble des règles de gestion des stocks. Par la suite, il a évolué pour intégrer plusieurs caractéristiques endogènes des systèmes de production, à savoir les :

- Contraintes de coordination des différents flux au sein des systèmes de production,
- Contraintes de capacité dans les systèmes de production,... etc.

Actuellement, cette notion s'étend de plus en plus pour englober toute la chaîne logistique depuis l'approvisionnement jusqu'à la distribution. Dès lors, le pilotage de flux consiste aujourd'hui à prendre toutes les décisions visant, à court terme, à coordonner tous les flux, à tous les niveaux de la chaîne logistique, dans l'objectif de garantir un certain niveau de service vis-à-vis du client tout en minimisant les coûts.

D'un point de vue plus pratique, piloter les flux dans la chaîne logistique consiste à prendre des décisions qui, à chaque étape de la chaîne (depuis les fournisseurs jusqu'au client final) et pour chaque entité (matière première, composant ou produit fini), répondent aux deux questions clés suivantes : quand lancer une activité (activité d'approvisionnement, de fabrication, d'assemblage, de transport ou de déploiement) et en quelle quantité ?

Généralement, ces décisions d'approvisionnement, de fabrication, d'assemblage, de transport et de déploiement sont concrétisées par des ordres d'approvisionnement, de fabrication, d'assemblage, de transport et de déploiement clarifiées par la figure (II-1).

D'après [9], les décisions en pilotage de flux tiennent compte de plusieurs informations que nous pouvons classer en trois types :

- Les informations sur l'état du système (telles que les machines en panne, etc.).
- Les informations sur les niveaux de stock.
- Les informations sur la demande.

Les politiques de pilotage de flux ont pour objectif de coordonner les flux physiques et les flux d'information tout en garantissant un niveau de service et en minimisant les coûts.

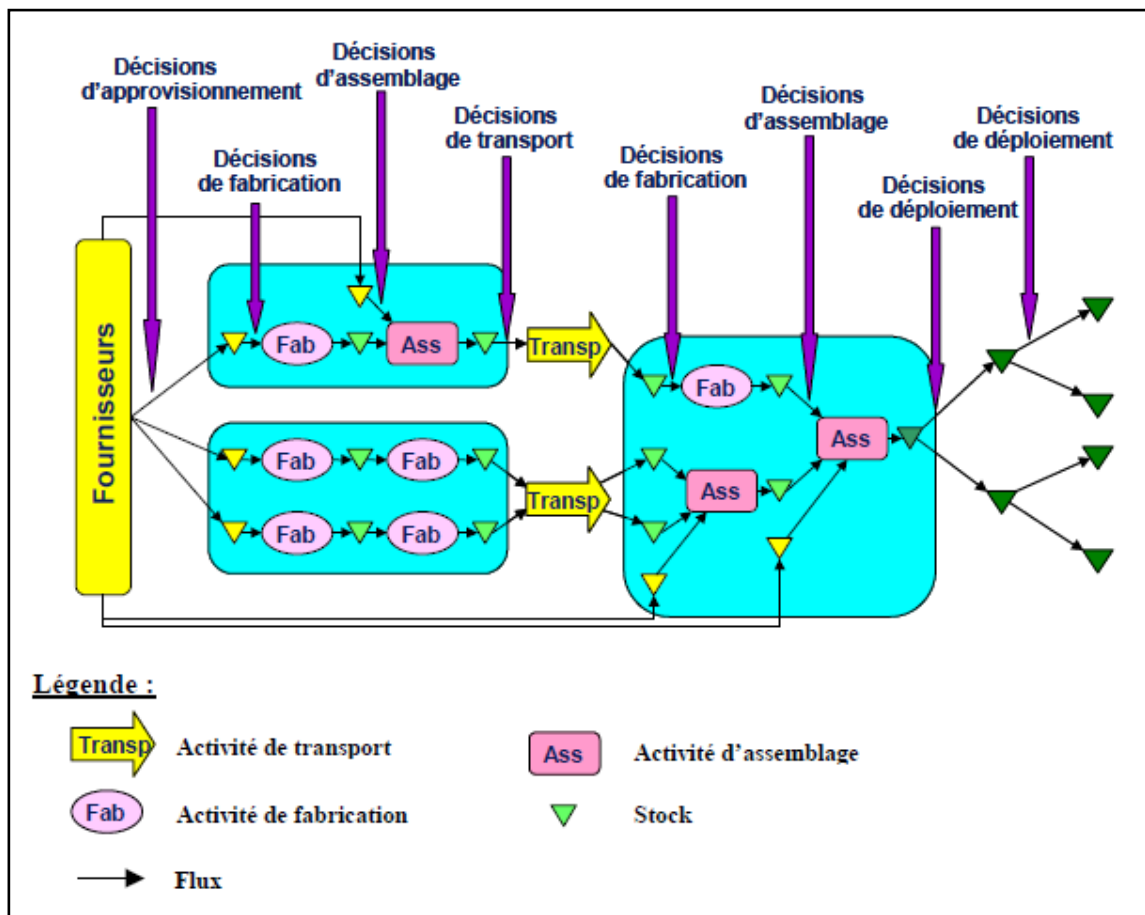


Fig.II-1. Le pilotage de flux dans la chaîne logistique [9].

II.2.2. Types de techniques de prévision

Selon Courtois [6], il existe deux grands types de technique de prévision : les techniques qualitatives et les techniques quantitatives.

II.2.2.1. Techniques qualitatives

Les techniques qualitatives font appel à une méthodologie non mathématique (mais elles peuvent impliquer des valeurs numériques).

Ce sont des projections basées sur des jugements, des intuitions ou des avis d'experts. Elles sont donc par définition subjectives.

Ces techniques sont utilisées généralement pour prévoir les tendances globales d'une activité, mais aussi la demande potentielle de grandes familles de produit sur une période assez grande. On les utilise aussi dans le cas d'une non disponibilité de données historiques (introduction d'un nouveau produit).

Elles comprennent quatre principales méthodes.

II.2.2.1.1. Méthode DELPHI

Basée sur l'opinion d'experts, elle vise l'obtention d'un consensus. Le premier consiste à recueillir en premier lieu l'opinion de chaque expert. Les opinions transcrites sont ensuite distribuées aux mêmes experts pour discussion. Une deuxième série d'opinion en ressortira. Souvent une troisième série sera nécessaire afin d'obtenir le consensus. Ce consensus peut être représenté par un intervalle plutôt que par un seul nombre ; dans ce cas, l'avantage majeur est l'étendue des facteurs considérés, tandis que l'inconvénient est la tendance des extrêmes à se rapprocher du centre.

II.2.2.1.2. Les études de marché

En testant des produits spécifiques auprès des clients potentiels, on tente de déterminer la disposition des clients à payer le produit, donc de déterminer les ventes possibles.

II.2.2.1.3. Les opinions des gestionnaires et des vendeurs

Elles sont souvent basées sur la préparation de prévisions par les vendeurs. Tant les gestionnaires que les vendeurs connaissent bien le marché et peuvent fournir rapidement des prévisions peu coûteuses. Ils tiennent souvent compte de facteurs divers qui peuvent influencer les ventes des différents produits. Le danger majeur provient du biais qui est souvent introduit : ils doivent alors en déterminer la direction. En général, ce type de prévision est souvent optimiste, sauf lorsque les vendeurs ou les gestionnaires obtiennent des bonis si les chiffres réels dépassent les prévisions.

II.2.2.1.4. L'analogie avec des situations passées

L'évolution des ventes d'un nouveau produit peut bien correspondre à celle de produits passés semblables.

II.2.2.2. Techniques quantitatives.

Les techniques quantitatives au contraire seront fondées sur des modèles mathématiques. De plus, ces techniques sont dites *intrinsèques* si les données manipulées sont celles du produit considéré. Elles sont *extrinsèques* s'il s'agit de données appartenant à des événements relatifs à l'article mais qui ne le concernent pas directement.

Ce sont des techniques basées sur la statistique. Elles sont utilisées dans le cas où l'on dispose des données sur plusieurs périodes passées et quand ces données présentent des tendances et des relations évidentes et stables.

La figure (II-2) résume les différentes techniques de prévision :

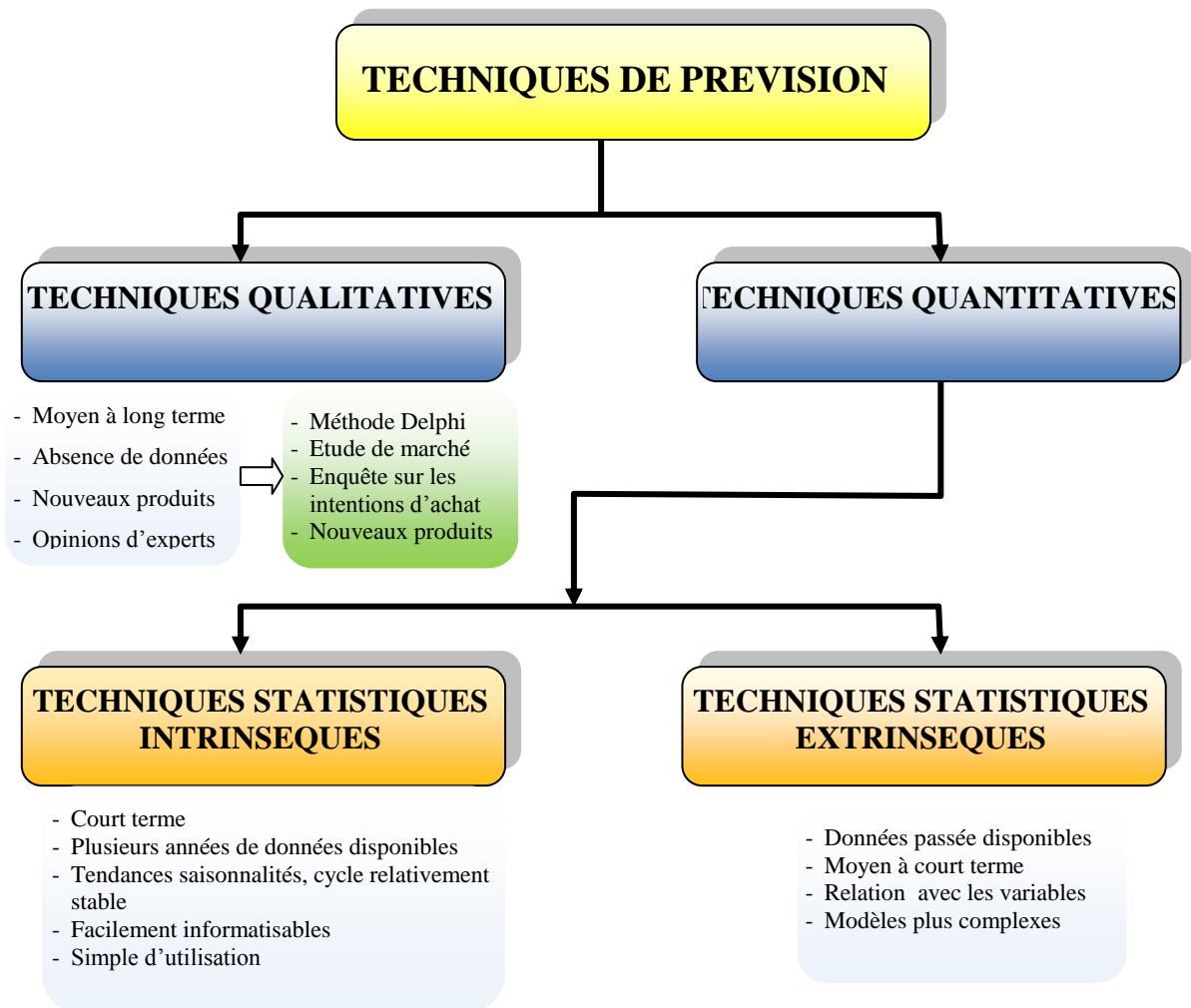


Fig.II-2. Différentes techniques de prédiction [8]

II.2.3. Méthodes de prédiction (politiques de pilotage de flux)

Selon [9], dans la littérature, les politiques de pilotage de flux sont classées en deux familles:

- La première famille: "politiques de pilotage par renouvellement de la consommation", regroupe les politiques de pilotage de flux basées sur la consommation du stock.
- La deuxième famille: "politiques de pilotage par les besoins futurs", regroupe les politiques de pilotage basées sur des commandes fermes ou prévisionnelles.

La figure (II-3) indique généralement les différentes méthodes de prédiction:

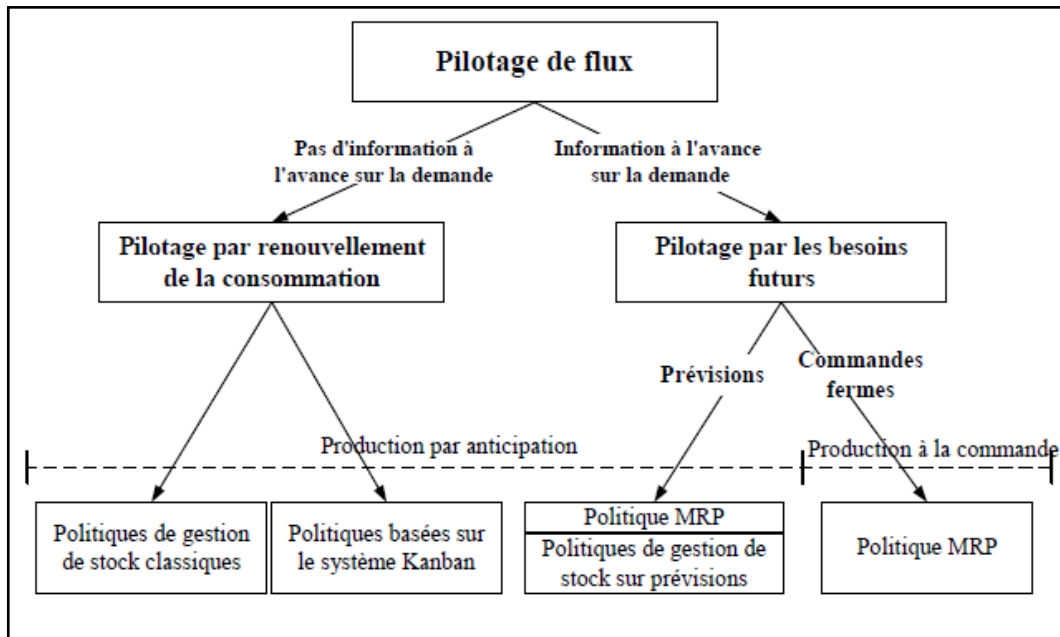


Fig.II-3. Classification des politiques de pilotage de flux en fonction du type de l'information sur demande [9]

II.2.3.1 Politiques de pilotage par renouvellement de la consommation

Les politiques de pilotage par renouvellement de consommation peuvent être classées en deux sous-familles, à savoir : les politiques de gestion de stock classiques et les politiques basées sur le système Kanban. Nous présentons, dans ce qui suit, plus en détails ces politiques et leurs principes de fonctionnement.

II.2.3.1.1. Politiques de gestion de stock classiques

Nous appelons politiques de gestion de stock classiques, les premières politiques de gestion de stock développées. Ces politiques assurent la gestion d'un ou plusieurs stocks alimentés par des systèmes d'approvisionnement qui peuvent être composés d'un ensemble d'activités de production, d'assemblage et de transport. L'objectif est de satisfaire la demande du client. A certains moments, des commandes sont passées pour réapprovisionner les stocks (Figure II-4). L'intervalle de temps séparant le moment où une commande est passée et la réception des produits est en général appelé délai d'approvisionnement. Cet intervalle correspond, dans la réalité, aux délais engendrés par le lancement de la commande, la fabrication des produits, le transport et la mise en stock.

Lorsque le contrôle de l'état du stock se fait en continu, on parle alors de politiques à suivi continu. Dans le cas où le contrôle est fait avec des périodes de temps fixes, on parle de politiques à suivi périodique.

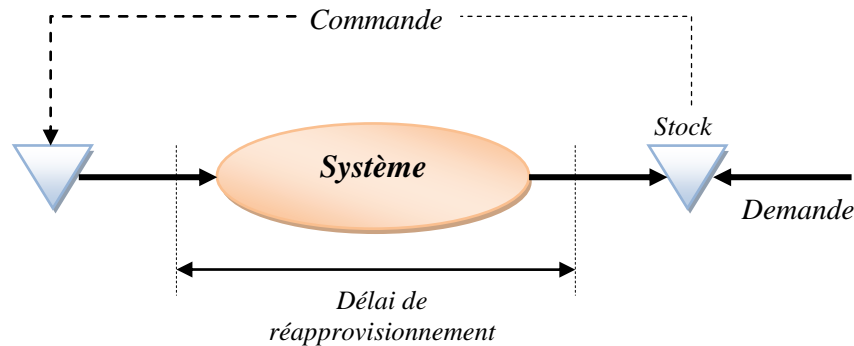


Fig.II-4. Schéma d'une politique de gestion de stock classique [9]

Dans les politiques de gestion de stock classiques, on s'intéresse généralement à deux niveaux de stock : le stock net et la position du stock. Le stock net représente la différence entre le stock physique disponible et les demandes non encore satisfaites. Il représente un paramètre important à considérer pour l'évaluation des coûts de stock. La position du stock intègre, en plus du stock net, les commandes déjà passées et dont la livraison est encore attendue. Elle constitue un paramètre important à considérer pour la prise de décision du type instant de commande ou quantités à commander.

Les politiques de gestion de stock classiques seront présentés en détaille dans le chapitre suivant.

II.2.3.1.2. Politiques de type Kanban

Selon Babai [9], à partir des années 70, où l'apparition de la philosophie du Juste à Temps (JAT), la plupart des recherches ont été dirigées vers les politiques de pilotage dites à flux tiré et notamment les politiques basées sur le système Kanban. Son fonctionnement est basé sur des cartes (ou kanbans) qui sont attachées aux pièces afin d'autoriser son passage à une étape en aval du système (stockage, transport, une autre étape de fabrication, etc.). Dans cette politique, plus le nombre de cartes est élevé, plus les stocks sont importants et plus le système est fiable et inversement [36].

Dans cette politique, avant l'arrivée d'une demande, les stocks qui composent le système contiennent un nombre de pièces égal au nombre de kanbans de l'étage. Lorsqu'une demande arrive au dernier étage, si le stock n'est pas vide, la demande est satisfaite et les cartes qui

étaient attachées aux pièces qui ont satisfait la demande sont libérées. Ensuite, elles remontent vers l'amont de l'étage pour déclencher la production d'une quantité de pièces égale à la quantité de kanbans libérés. Ce mécanisme est propagé vers les autres étages en amont du système. Nous expliquons le fonctionnement de cette politique à partir de la Figure (II-5).

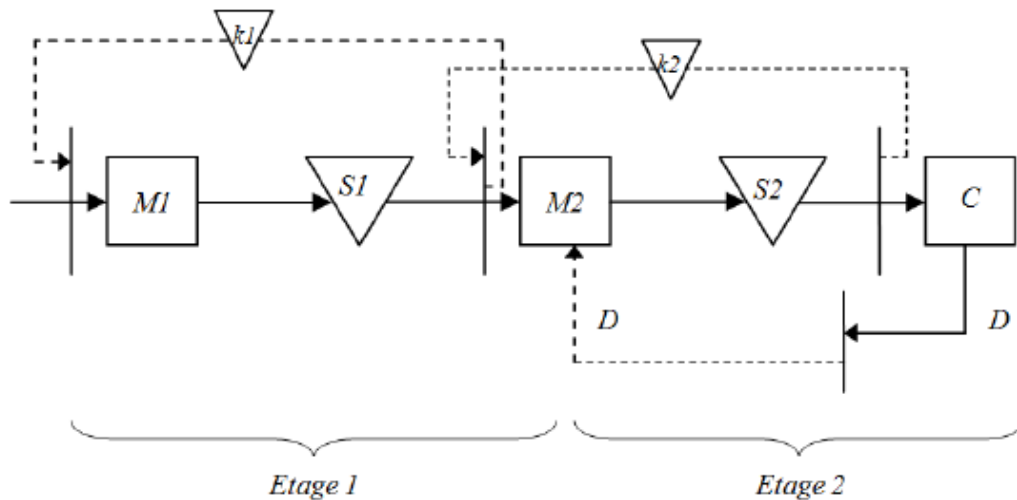


Fig.II-5. Pilotage par la politique Kanban [18]

Le système de production présenté est composé de deux étages. M_i représente les machines et S_i représente les stocks de matières (pièces d'approvisionnement ou produits finis). Les stocks de cartes sont représentés par k_i .

Lorsque le système est dans l'état initial, S_1 contient k_1 pièces d'approvisionnement et S_2 contient k_2 pièces de produits finis et chaque pièce possède une carte attachée. Ainsi, lorsqu'une demande du client C se produit à la fin du deuxième étage, s'il y a une pièce dans le stock S_2 , la demande est délivrée au client [14]. Ensuite, les cartes qui étaient attachées aux pièces délivrées au client sont libérées et transmises en amont de la machine M_2 , afin de produire une quantité de pièces (produits finis) égale à la quantité de cartes libérées pour le deuxième étage. Ce mécanisme est propagé en amont du système. Le mouvement des pièces dans le système est toujours de l'amont vers l'aval. Le mouvement des cartes tant qu'elles sont attachées aux pièces est de l'amont vers l'aval, mais lorsque ces cartes sont détachées, le mouvement des cartes est de l'aval vers l'amont. Le paramètre à déterminer dans cette politique est le nombre de kanbans pour chaque étage, lesquels déterminent le nombre de pièces (en production, en stock et en transit) dans les différents étages. Cette politique permet donc de limiter les pièces dans chaque étage.

II.2.3.2. Politiques de pilotage basées sur les besoins futurs

Ce type de politique est basé sur la demande future, Dans la littérature, les travaux se divisent en deux types:

- Ceux qui s'intéressent à la politique MRP;
- Ceux qui étudient les politiques de gestion de stocks sur prévisions.

II.2.3.2.1. Méthode MRP (Material Requirements Planning)

Selon Babai [9], la politique MRP est développée depuis les années 70. Elle se base sur trois points essentiels, à savoir :

- *Le Plan Directeur de Production (PDP)*: qui spécifie les quantités à produire dans chaque période et pour chaque produit;
- *La nomenclature*: qui spécifie les différents composants intervenant aux différentes étapes de la fabrication des produits;
- *Les délais de production*, supposés constants, à chaque étape du processus.

Le principe de fonctionnement de la politique MRP peut être résumé par les deux notions suivantes :

- **Eclatement des besoins**: Les besoins en produits finis, donnés par le plan directeur de production, sont transformés en besoins de produits semi-finis et de composants en utilisant la nomenclature.
- **Décalage des besoins** : Les besoins calculés sont transmis à tous les niveaux de la chaîne avec un décalage dans le temps suivant le principe de lancement "au plus tard" en tenant compte des délais de production. Ces décalages sont faits de façon à avoir les composants dans chaque étage et les produits finis juste à temps.

La mise en œuvre de la politique MRP peut être faite en utilisant des tableaux permettant d'une façon simple de déterminer les décisions de lancement prévisionnelles pour chaque produit et à chaque période de l'horizon. Un tableau MRP se présente comme suit :

Périodes	0	1	2	3	4	5	6
Besoins bruts								
Réceptions à venir								
Stock disponible								
Besoins nets								
Réceptions prévisionnelles								
Lancement prévisionnels								

Tableau.II-1. Tableau MRP

Les éléments du tableau MRP sont définis de la manière suivante:

- Besoins Bruts : demande totale en début de chaque période donnée par le PDP.
- Réceptions à venir : quantité déjà lancée et qui sera disponible en début de période
- Stock disponible : quantité disponible à la fin de chaque période
- Besoins nets : quantités effectivement requises en début de chaque période. Elles correspondent aux besoins bruts moins les réceptions à venir et le stock disponible.
- Réceptions prévisionnelles : quantités à mettre à disposition en début de chaque période. elles sont déduites directement à partir des besoins nets en utilisant une méthode de groupage des commandes (commandes par lots).
- Lancement prévisionnel : quantités à lancer en début de chaque période. Elles sont déterminées en appliquant le principe de décalage des réceptions prévisionnelles.

La politique MRP consiste à déterminer, pour chaque produit et à chaque période de l'horizon, les différents éléments du tableau MRP en appliquant les deux principes énoncés précédemment et ce, dans l'objectif d'avoir les produits finis disponibles juste à temps. Ainsi, en présence de délais de production constants et en l'absence d'aléas, nous remarquons que la politique MRP peut être considérée comme un cas particulier d'une politique JAT. Par ailleurs, en présence d'aléas dans le système, la politique MRP nécessite la mise en place de paramètres de sécurité.

Architecture générale

Dans son principe, la méthode MRP a une structure hiérarchisée dans laquelle chaque niveau correspond à un horizon temporel donné (de 1mois à la minute). Cette structure MRP peut être intégrée à la gestion de production dans son ensemble.

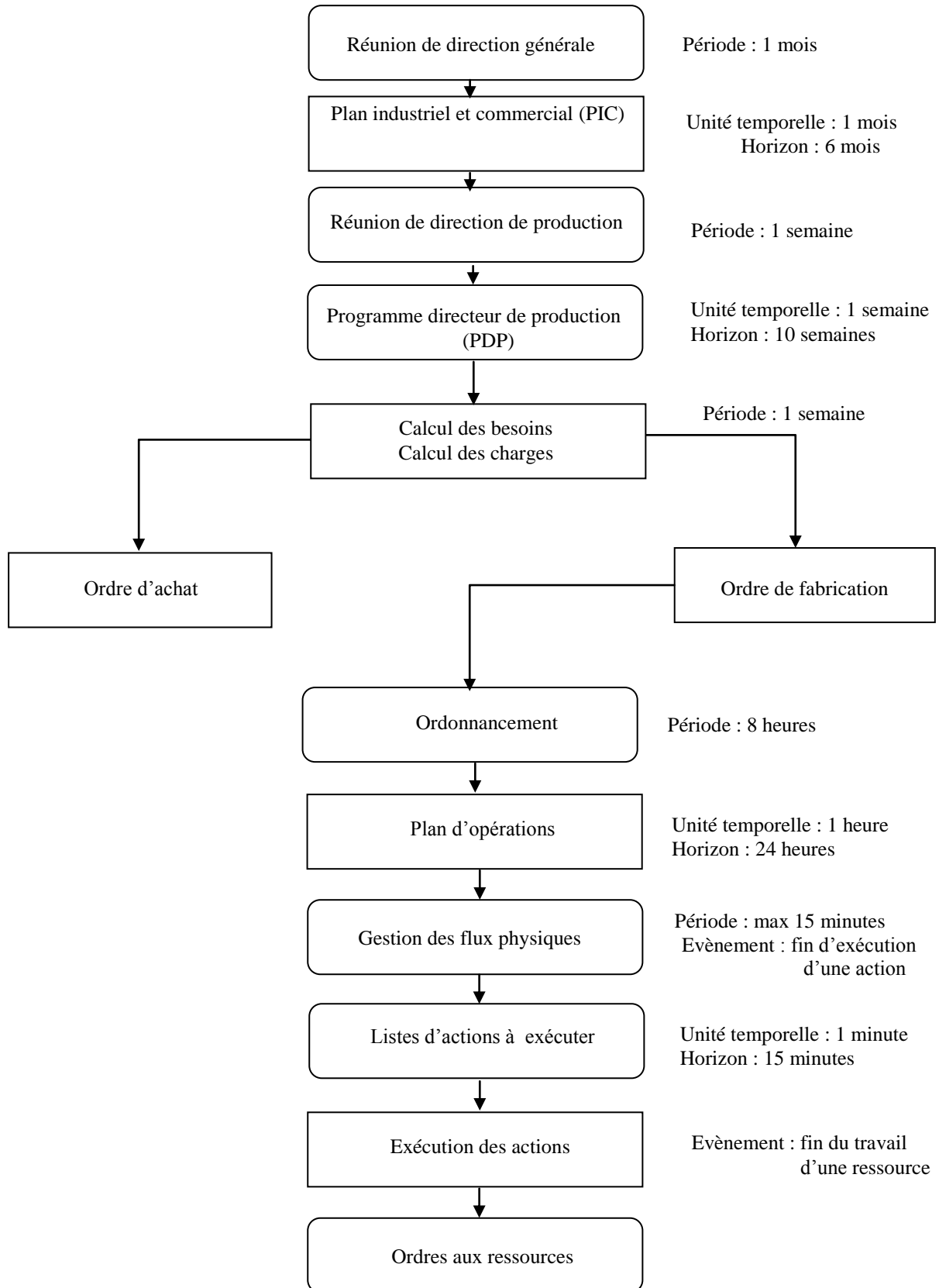


Fig.II-6. Structure d'un MRP [4]

Le plan industriel et commercial (PIC)

Ce plan définit l'activité globale de l'entreprise par familles de produits. Il est établi lors d'une réunion mensuelle entre le PDG et les directeurs opérationnels (production, commercial, achats et logistique). Son objet est de prévoir l'évolution liée des ventes, de la production et du stock. Un objectif fréquemment poursuivi dans ce plan est soit la stabilisation du stock à un niveau constant raisonnable, soit le maintien d'une production constante (en nombre de produits/jour) malgré des ventes saisonnières. La relation entre les diverses grandeurs est :

$$Production (t) = Ventes (t) + Stock désiré (t) - Stock (t - 1) \dots\dots\dots (II-1)$$

Le PIC est un premier outil permettant à l'entreprise de planifier ses capacités de production. La production prévisionnelle est convertie en heures de travail dans le but de vérifier l'adéquation entre la charge et la capacité globales par atelier et pour toutes les familles de produits.

En cas de surcharge, on peut utiliser les moyens suivants :

- Recours aux heures supplémentaires
- Mutation de personnel depuis les ateliers en sous charge
- Recours à la sous-traitance
- Recours au personnel intérimaire
- Embauche
- Investissement en ressources de production supplémentaires

En cas de sous charge, on a le choix entre :

- Suppression des heures supplémentaires
- Chômage technique
- Rapatriement de la sous-traitance
- Suppression du travail intérimaire
- Licenciements.

Le programme directeur(PD) et le programme directeur de production(PDP)

Le programme directeur est un échéancier des produits finis à fabriquer compte tenu des prévisions de vente, des commandes clients et du stock disponible; il s'agit en fait de détailler le PIC pour tous les produits finis avec une résolution temporelle plus grande (de l'ordre de la semaine) sur un horizon plus court (de l'ordre d'une dizaine de semaines).

Le programme directeur de production est le sous-ensemble du PD qui ne reprend que les ordres de fabrication. Selon la structure des produits, la mise en œuvre du PD se fait de la manière suivante :

- ★ structure convergente (MTS): PD des produits finaux basé sur des prévisions de vente;
- ★ structure à points de regroupement (ATO): PD des produits finaux basé sur des commandes fermes; PD des sous-ensembles basé sur des prévisions d'utilisation;
- ★ structure divergente (MTO) : PD des produits finaux basé sur des commandes fermes; PD des matières premières et composants basé sur des prévisions d'utilisation.

II.2.3.2.2. Politiques de gestion de stock sur prévisions

Durant la dernière décennie, le pilotage de flux basé sur des prévisions de la demande a occupé une place importante dans la littérature. Nous avons constaté que les politiques proposées sont généralement des extensions des politiques de gestion de stock classiques. Une partie considérable de ces travaux utilise, en général, une approche de pilotage basée sur des modèles de mise à jour des prévisions, appelés dans la littérature *Forecast Updates models*. Les politiques proposées sont généralement des politiques à suivi périodique du type stock nominal.

La première politique de gestion de stock sur prévision a été proposée par Lee et al. (1997)[37]. Elle est appelée *politique avec niveau de rechargement*. Dans cette politique, à chaque période, une quantité qui correspond à la différence entre le niveau de rechargement et la position du stock est commandée. La quantité commandée est livrée après le délai d'approvisionnement. Puisque les prévisions sont variables dans le temps, le niveau de rechargement est dynamique et chaque période est caractérisée par un niveau de rechargement.

La deuxième politique étudiée dans la littérature est appelée *politique à stock nominal adaptatif*. Cette politique, connue dans la littérature sous le nom *Adaptive Base Stock policy*, a été introduite par Graves (1999)[38]. La politique à stock nominal adaptatif est une extension de la politique à stock nominal classique. Dans la politique à stock nominal adaptatif, à chaque période, après avoir observé la demande, la quantité commandée est constituée de deux parties. La première partie permet de réapprovisionner la quantité qui correspond à la dernière demande et qui vient d'être consommée (comme dans le cas d'une politique à stock nominal classique), alors que la deuxième partie sert à ajuster le niveau du stock nominal pour s'adapter au changement de la demande prévisionnelle durant le délai d'approvisionnement. Nous présenterons dans la section suivante une étude quantitative détaillée de ces deux politiques.

II.3. GESTION D'APPROVISIONNEMENT

Le succès d'un système de production est caractérisé, entre autres, par son aptitude d'offrir son produit au bon endroit et au bon moment. Un stockage intelligent collabore de façon convaincante à cet objectif stratégique.

Selon [4], devant les nombreuses tâches que les stocks remplissent dans une entreprise industrielle, il est pratiquement inconcevable d'éviter la contribution des stocks.

En effet, il est indispensable de constituer de stocks dans les cas où il y a :

- Impossibilité de satisfaire une demande quand elle est manifestée dans un temps ou un espace différent de celui de la production.
- Imprécision sur la prévision de la demande: dans ce cas la constitution de stock de sécurité est inévitable pour affronter la demande imprévisible, s'il y a des demandes en surplus à celle prévisible.
- Incertitude sur le prix: la constitution d'un stock de spéculation est conseillée dans ce cas.
- Risque de refléter une panne d'un poste sur toute la chaîne de production: l'existence des stocks tampons empêche l'arrêt des postes en aval si les postes en amont sont en état de dysfonctionnement, et en conséquence, ça empêche un fonctionnement régulier du système de production.
- Existence du coût de lancement d'un ordre d'achat ou de fabrication: pour diminuer ce coût par unité, il est évident de travailler par des lots, ce qui implique la constitution des stocks.

A cet effet, dans cette section, nous présentons un état de l'art des principales politiques de pilotage de flux étudiées dans la littérature. Nous allons décrire le principe de fonctionnement ainsi que les avantages et les inconvénients de ces politiques et ce, en se référant aux travaux de base qui ont été réalisés dans ce domaine.

II.3.1. Définitions et problématiques des stocks

Le but principal de la constitution des stocks (de matière première, de fourniture, ou de produit intermédiaire), est de soutenir et garantir la continuité du bon fonctionnement des systèmes de production sans interruptions, en satisfaisant les demandes intérieures exprimées par les différents services de l'entreprise, ainsi en construisant des stocks de produits finis pour assurer les demandes des clients.

C'est pour cela la constitution des stocks est indispensable pour n'importe quel système de production. A titre d'exemple, on ne peut pas croire dans une entreprise de construction des

voitures qui ne produit des véhicules qu'à la commande et qui demande les accessoires fondamentaux pour accomplir la demande.

D'autre part, le stock représente un capital qui reste immobilisé pendant une période considérable, forme un gaspillage, à cette raison les fondateurs de l'approche juste-à-temps ont construit leur position qui vise à zéro stock. Pour notre part, Nous soutenons le point de vue de Georges [5] selon laquelle cette idée ne l'inspire pas et qu'il est très intéressé de trouver une valeur optimum de stock à posséder, car les stocks ont les rôles positifs suivants :

- ✓ Dans le cas où la demande se manifeste d'une façon irrégulière par des variations importantes pendant un certain temps (saisonnièrement); d'où le stock de produit fini est l'issu unique.
- ✓ Confrontation les indisponibilités et les inactivités de quelques ressources, car pour exécuter une commande d'un client lorsqu'elle manifeste, nécessite (pour la fabrication) dans la plus part du temps un délai supérieur à celui exigé, ce qui conduit à constituer des stocks de produits finis.
- ✓ Diminuer les délais de livraison, car la mise à disposition de matières premières nécessite parfois un délai important supérieur à celui de fabrication et même au délai exigé par le client.

D'autre part, les stocks ont plusieurs inconvénients qu'on peut les souligner:

- Inflexibilité de la production;
- Inutilisation de ressources financières importantes, selon Gaspart [4], ils peuvent représenter jusqu'au 40% du capital d'entreprise;
- Occupation d'espace;
- Camouflant l'état réel de prévision de matière première (risque d'insuffisance), ainsi l'état du système de production;

Vu le financement important que les stocks constituent, il est nécessaire pour tout système de production, d'essayer de les contrôler sérieusement afin de les minimiser.

A cet effet, il est conseillé de prendre en considération:

- ❖ La diminution des arrêts causés par les pannes de différents équipements; ceci explique l'intérêt des systèmes de maintenances et interventions;
- ❖ L'élimination des produits non conformes; ceci explique l'importance des services de qualité dans les systèmes de production;

La figure (II-7) explique l'intérêt d'avoir un stock.

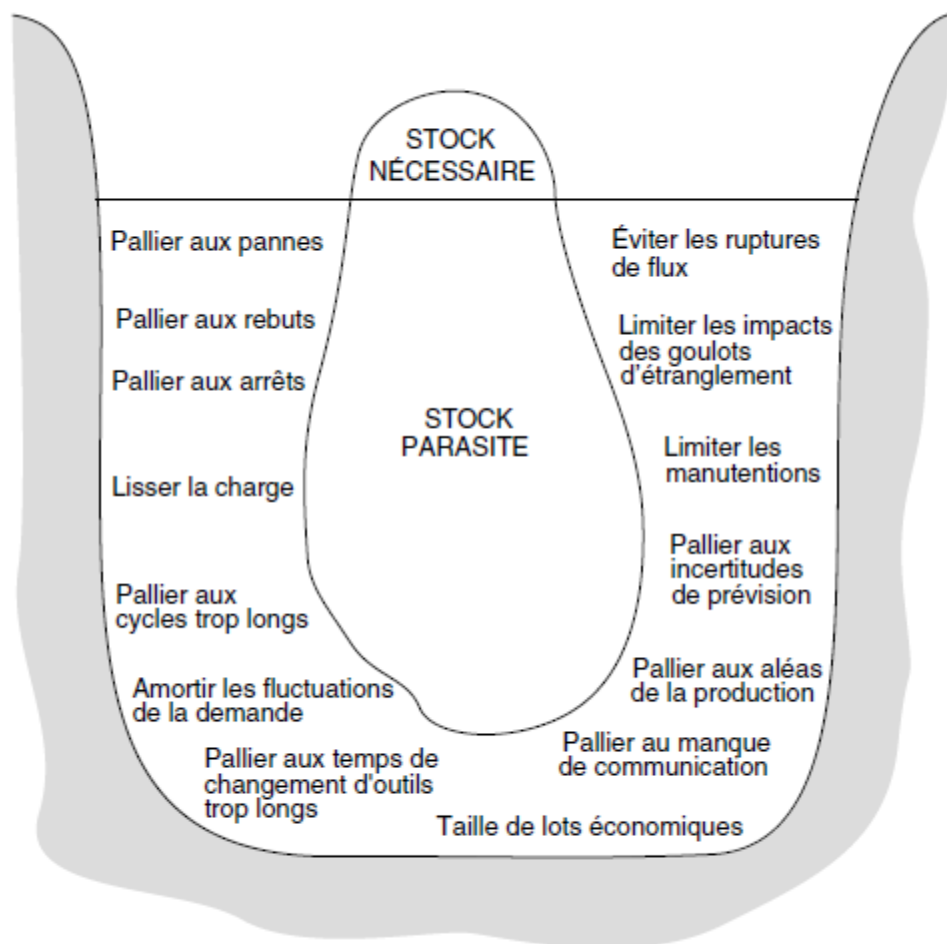


Fig.II-7. Les raisons de constitution un stock [5]

II.3.2. Gestion des stocks

Selon Lambert et al.[39] « Le but principal de la gestion de stock est de maximiser la rentabilité d'une entreprise en minimisant le coût de stockage tout en satisfaisant les exigences du service client ». Dans l'article de Sgren Glud et Anders [40], les auteurs proposent une méthode de réapprovisionnement d'urgence dans le but d'éviter les ruptures de stocks, cette méthode est basée sur les commandes urgentes pour affronter l'incertitude de la demande.

Dans le même sens, et avec la même idée, Sven [41] propose une procédure de gestion pour un système d'inventaire mono échelon basée sur un suivi persistant du stock, appliquant la méthode de réapprovisionnement à point de commande pour validation, cependant Springer et Kim[42], distinguent que les différentes politiques de réapprovisionnement

doivent être adaptatives, d'ailleurs Childerhouse et al. [43] démontrent qu'une gestion de réapprovisionnement inadaptée provoque des perturbations progressives sur la chaîne logistique. C'est pour cela Croson et Donohue [44] recommandent de combiner les différentes politiques de gestion en fonction de la situation de chaque phase afin de réduire le niveau du stock et éviter sa rupture.

Dans le travail de Cheng [45], l'auteur fait une analyse sur l'effet de synthèse de différentes politiques de réapprovisionnement sur la performance de la chaîne logistique.

Dans le but de déterminer la quantité économique ainsi le délai d'exécution optimal, Lee[46] présente un mode de contrôle de réapprovisionnement des stocks d'une façon continue, il prend en considération les délais, le nombre de ruptures et les politiques de réapprovisionnement.

Le travail de Babai et al.[9] est parmi les meilleurs travaux qui s'intéressent à l'étude et à l'analyse des méthodes de réapprovisionnement. A cet effet, les auteurs proposent des méthodes extensions aux méthodes classiques : à point de commande et de rechargement. Le mode d'alimentation des stocks par ces nouvelles approches est basé sur les besoins futurs de consommations en tenant compte de l'incertitude prévisionnelle où ils proposent un suivi continu de la prévision, en conséquence, un suivi du niveau de point de commande.

Par contre, dans le travail de Rachid Ben moussa et al.[47], Les auteurs présentent une méthode pratique pour le déploiement de l'approche processus au sein d'une chaîne logistique, ils proposent de décomposer le système de réapprovisionnement et d'étendre les objectifs stratégiques le long de cette structure.

Et pour l'obtention d'un coût optimal, Giri et Dohi.[48] font une étude analytique entre les différentes politiques de réapprovisionnement, qui assurent un équilibre entre les exigences de fiabilité et les exigences économiques. A cet effet, ils présentent les privilèges de chaque politique par rapport aux autres.

Dans l'article de Selda et Emmett[49], les auteurs examinent les systèmes d'approvisionnement qui subissent des variations saisonnières provoquant des fortes perturbations, ce qui incite les auteurs à proposer un modèle dans le but de déterminer la quantité de commande optimale.

La fonction de la gestion de stock est de garantir la disponibilité des articles et des biens de l'entreprise afin de satisfaire leur livraison au moment convenable, pour la fabrication des

produits ou pour les commandes des clients à moindre coût. Elle doit permettre de répondre aux trois questions clés concernant les produits à acheter ou à fabriquer:

- *Quoi (quel produit) faut-il approvisionner?*
- *Combien faut-il en approvisionner?*
- *Quand faut-il l'approvisionner?*

II.3.2.1. Quantité économique

La minimisation de stocks jusqu'à un niveau qui respecte le planning de service donné, est l'objectif principal de la gestion des stocks.

Le niveau du planning de service est évalué par la probabilité de rupture. Si on considère:

$e(t)$: débit d'entrée d'un stock

$s(t)$: débit de sortie du stock

Le contenu instantané du stock est donné par l'équation suivante:

$$q(t) = \int_0^t (e(t) - s(t)) dt + Q(0) \dots\dots\dots(II-2)$$

Dans un cas idéal où on considère la réception instantanée, et la fonction $s(t)$ constante, on obtient la forme d'évolution du stock comme suit.

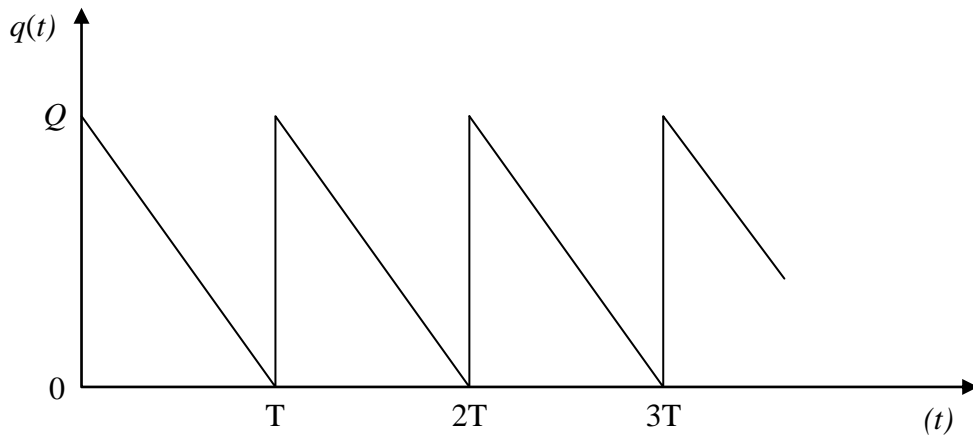


Fig. II-8. Evolution du stock avec réception instantanée

Pour $t = nT$; $e(t) = Q$

Pour $t \neq nT$; $e(t) = 0$

Alors, le stock moyen égal à $Q/2$.

L'idée de minimiser simplement le stock moyen n'est pas une bonne solution, particulièrement dans le cas où il existe un coût de lancement d'un ordre de fabrication ou un ordre d'achat fixe non proportionnel avec la quantité visée.

II.3.2.1.1. Coûts associés

La détermination de la quantité idéale –optimale- (dite économique) se base sur la minimisation du coût total associé, tel que le coût de lancement (dépenses invariables) et le coût de stockage ou de possession (dépenses variables).

. Ce coût total est donné par:

$$C_t = C_{stockage} + C_{lancement} \dots\dots\dots (II-3)$$

↳ **Coût de stockage (possession)**

Ces frais recouvrent :

- Valeur du capital inutilisé (immobilisé);
- Frais de magasinage (frais de manutention, de personnel, entretien des locaux, loyer et assurances);
- Frais de détérioration et du dommage des équipements;
- Risques d'invalidation;
- Rentabilisation des bâtiments et des équipements;

Le coût de stockage est déterminé selon la formule suivante:

$$C_{stockage} = p a(Q/2) \dots\dots\dots (II-4)$$

Où :

P = taux de possession, il peut valoir jusqu'à 30% du prix d'article, selon Gaspart [4],

↳ **Coût de lancement**

Lors du lancement d'un ordre de fabrication ou un ordre d'achat, des dépenses associées se manifestent, pour chaque commande tel que:

- Dépenses de gestion des commandes;
- Dépenses de lancement en fabrication;

$$C_{lancement} = L N/Q \dots\dots\dots (II-5)$$

Où :

L = frais de lancement d'un ordre de fabrication ou un ordre d'achat

N = nombre d'articles fabriqués ou commandés par an

II.3.2.1.2. Détermination de la quantité économique :

On a vu que le coût de stockage total est:

$$\begin{aligned} C_t &= C_{stockage} + C_{lancement} \\ &= p a Q/2 + L N/Q \end{aligned}$$

Le calcul de la quantité économique est relatif à la détermination du coût total minimum.

On considère C_t une fonction dont la variable est Q

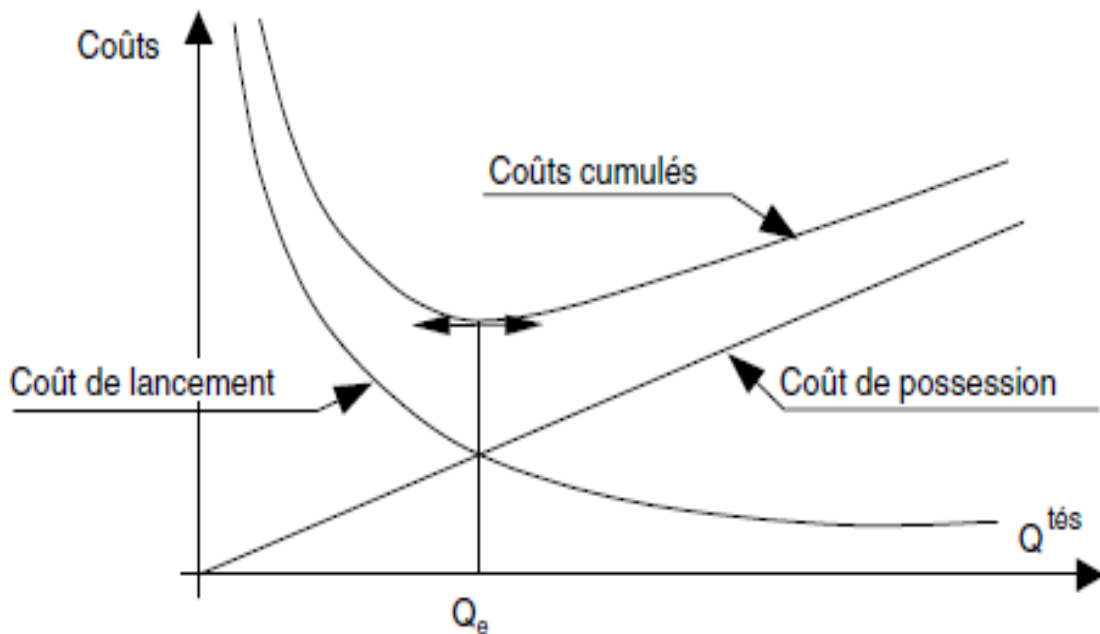


Fig.II-9. Courbe des coûts. [5]

Pour que le coût total (C_t) atteigne sa valeur minimale, sa dérivée par rapport à Q doit être nulle, d'où on détermine la valeur de la quantité économique (Q_e).

L'équation $\frac{\partial C}{\partial Q} = 0$ nous donne la formule de Wilson :

D'où :

$$\frac{\partial C}{\partial Q} = \frac{pa}{2} - \frac{LN}{Q^2} = 0 \Rightarrow Q^2 = \frac{2LN}{pa}$$

La quantité économique: $Q_e = \sqrt{\frac{2NL}{pa}} \dots \dots \dots (II - 6)$

Dans l'équation (II-6), on considère que les frais de lancement sont carrément invariables et les quantités fabriquées ou achetées n'influent pas sur le prix d'article, il est indépendant.

Ainsi dans le cas précédent, la supposition de la réception instantanée est justifiée, où on a un ordre d'achat. Mais si on a un ordre de fabrication, où les articles sont produits au fur et à mesure, la réception des commandes ne sera pas éventuellement instantanée, alors dans ce cas, l'évolution du stock est diversifiée suite à la figure suivante:

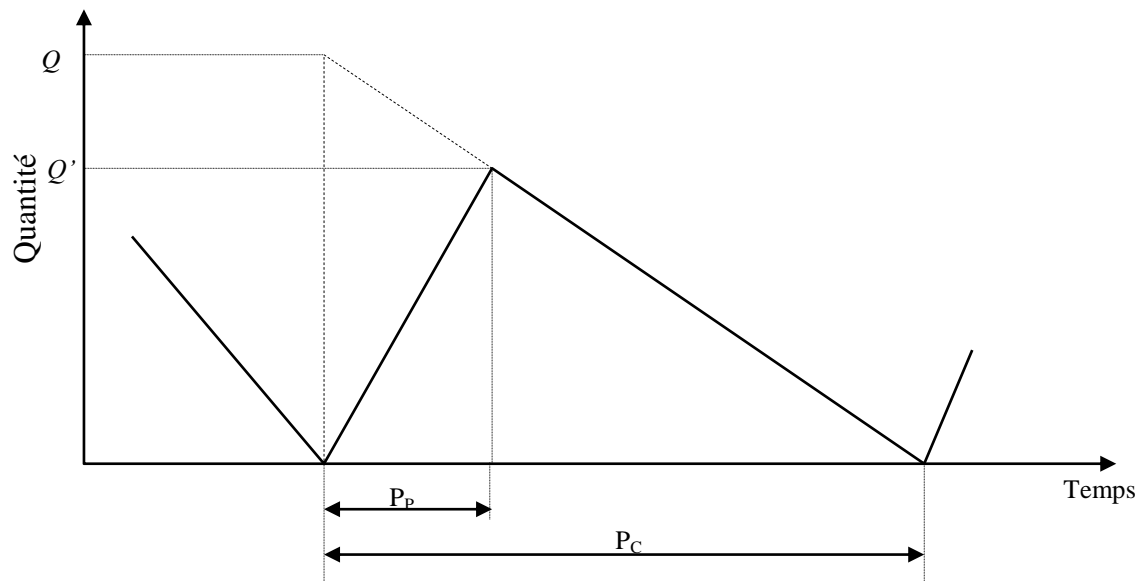


Fig.II-10. Evolution du stock avec une réception non instantanée

Avec:

P_C : temps de consommation;

P_P : temps de production;

R_P : rythme de production = Q / P_P ;

D_C : débit de consommation = Q / P_C .

$$C = LN/Q + paQ'/2$$

Et:

$$Q' = (P_C - P_P)/P_C = (1 - P_P/P_C)Q$$

On déduit que :

$$Q' = Q (1 - D_C/R_P)$$

Il vient :

$$C = LN/Q + paQ (1 - D_C/R_P)/2$$

L'équation $\frac{\partial C}{\partial Q} = 0$ nous donne :

$$Q_e = \sqrt{\frac{2LN}{pa(1 - \frac{D_C}{R_P})}} \dots\dots\dots(II-7)$$

II.3.2.2. Stock de sécurité:

La constitution du stock de sécurité, a pour but d'empêcher la rupture de stock ;et en conséquence d'éviter l'irrégularité et le dysfonctionnement du système de production; à partir

de l'absorption de l'imprévisible: Le calcul des prévisions se base sur des moyennes de consommations, moyennes des délais de livraison, et comme l'environnement n'est pas idéal, quelle que soit la méthode appliquée; elle ne donne pas des résultats adaptatifs et synchronisés en présence des différents aléas.

Parmi les aléas qui peuvent provoquer des ruptures de stock:

- Un accroissement de la consommation;
- Un allongement du délai de réapprovisionnement.

Pour faire face à ces aléas, les systèmes de production s'appuient sur leurs stocks de sécurité.

La détermination du stock de sécurité se fait par deux méthodes:

- Méthode géométrique;
- Méthode statistique (Approche probabiliste) [5]

II.3.2.2.1. Approche statistique

On peut considérer la consommation de l'article (C) comme une variable normale de consommation moyenne $C_{(moy)}$ et d'écart-type σ .

On a : $QC = C \times LT_{(moy)}$

Où :

$LT_{(moy)}$: lead time, la durée moyenne pour réceptionner l'article fabriqué ou acheté.

QC: la quantité consommée durant le délai (LT_{moy})

Supposons C_{red} une variable normale réduite tel que:

$$C_{red} = \frac{C - C_{moy}}{\sigma} \dots\dots\dots (II-8)$$

Si on considère à titre d'exemple, un système de production qui exige un niveau de service de 80% (probabilité d'empêcher la rupture de stock pour l'article considéré), l'équation de probabilité se traduit comme suit:

$$P(QC < PC) = 0.80$$

D'après les tables de statistique, $F(Z)=80$ correspond à $Z=1.28$

Cela signifie que: $P(C_{red} < 1.28) = 0.80$;

Ce qui conduit à:

$$P(C < C_{moy} + 1.28 \times \sigma) = 0.80 ,$$

$$P(QC < (C_{moy} + 1.28 \times \sigma) \times LT_{moy}) = 0.80 ,$$

$$d'où, PC = (C_{moy} + 1.28 \times \sigma) \times LT_{moy}$$

$$PC = (C_{moy} \times LT_{moy}) + 1.28 \times \sigma \times LT_{moy},$$

et comme on a : $PC = (C_{moy} \times LT_{moy}) + SS$ (II-9)

Cela conduit à déterminer le stock de sécurité par l'équation suivante:

$$SS = 1.28 \times \sigma \times LT_{moy}$$
 (II-10)

II.3.2.2.2. Approche géométrique

Il est concevable de constater que la constitution de stock de sécurité a pour but de faire face à l'augmentation de la consommation ou à l'allongement du délai de livraison par les fournisseurs. A cet effet, lors du calcul du point de commande, il faut le prendre en considération comme supplément.

➤ *Accroissement de la consommation*

Si cette élévation est évoquée par une consommation d'articles $(C_{moy})'$ dans une durée de temps, or le calcul du point de commande est basé sur la consommation de (C_{moy}) qui est inférieure à celle envisagée, **Alors** on a un stock de sécurité :

$$SS = [(C_{moy})' - (C_{moy})] \cdot LT_{moy}$$
 (II-11)

➤ *Allongement du délai de livraison*

Dans ce cas, le stock de sécurité est égal à :

$$SS = (C_{moy}) \times \Delta LT_{moy}$$
 (II-12)

➤ *Accroissement du délai de livraison et de la consommation simultanément.*

Dans cette circonstance, le stock de sécurité est calculé suivant l'équation suivante:

$$SS = [(C_{moy})' - (C_{moy})] \cdot (LT_{moy} + \Delta LT_{moy})$$
 (II-13)

II.3.2.3. Politiques de gestion de stock

La gestion de stock s'intéresse à trouver une réponse aux deux grandes questions après la réponse à la première question "quoi?":

1. **Quand** lancer le réapprovisionnement du stock?

La réponse à cette question est déterminée suivant le modèle de politique de gestion de stock appliqué par le système de production.

☆ En politique de gestion par point de commande, le déclenchement de réapprovisionnement du stock, se fait lorsque le niveau du stock atteint le niveau du point de commande (PC).

- ☆ En politique de gestion calendaire, le déclenchement de réapprovisionnement du stock, se fait à chaque intervalle régulier T.
- ☆ En politique de gestion calendaire conditionnelle, le déclenchement de réapprovisionnement du stock, se fait à chaque intervalle régulier T, mais seulement lorsque le niveau du stock atteint une valeur inférieure ou égale le niveau du point de commande (PC).

2. Combien de quantité commander ?

La réponse à cette question est liée également au modèle de politique de gestion de stock suivie :

- ❖ En politique de gestion par point de commande, la quantité commandée est fixe, et nommée quantité économique (Q_e).
- ❖ En politique de gestion calendaire, on commande une quantité égale à la différence entre le niveau à atteindre (S) et le niveau du stock à l'instant de commande.

La combinaison entre les réponses aux deux questions précédentes, nous donne quatre méthodes différentes, qu'on peut classer dans le tableau (II-2).

Quand?	Date fixe	Date fixe	Date variable	Date variable
Combien?	Quantité fixe	Quantité variable	Quantité fixe	Quantité variable
Nom de la méthode	Réapprovisionnement fixe périodique	Recomplètement périodique	Point de commande	

Tableau.II-2. Différentes politiques d'approvisionnements [6]

Il est évident que l'application d'une politique de gestion est convenable à un type ou à un ensemble de produits, et est inadaptable pour d'autres produits, ce qui oblige les entreprises à utiliser plus qu'une méthode simultanément.

Le choix de sélectionner une telle méthode par rapport aux autres, est basé sur son adaptation pour le produit désigné, qui permet l'empêchement de la rupture de stock avec le moindre coût financier. Cela nous incite à chercher les avantages et les inconvénients de chaque méthode, mettre en évidence particulièrement la simplicité des procédures comme avantage, le risque de rupture et le coût de procédure comme inconvénients.

chaque méthode n'est pas toujours idéale, il est préférable d'appliquer la méthode de réapprovisionnement la plus optimale pour le produit le plus adéquat.

II.3.2.3.1. Méthode de réapprovisionnement à date fixe, quantité fixe

Le principe de cette méthode, est qu'une quantité fixe (voisine de la quantité économique) est commandée chaque date fixe (par exemple le début de chaque semaine).

Il est sûr que dans le temps, on peut étaler les quantités commandées.

➤ *Avantages*

- Elle est caractérisée par sa forte simplicité

➤ *Inconvénients*

Si la quantité d'approvisionnement commandée est mal estimée, ou s'il y a une irrégularité de consommation, il y a risque de:

- existence des quantités en surplus en stock en cas d'abaissement de consommation;
- ruptures de stock inévitable en cas d'augmentation importante de consommation.

En conclusion

Vu ses avantages et ses inconvénients, cette méthode est recommandée dans les cas où la consommation est régulière.

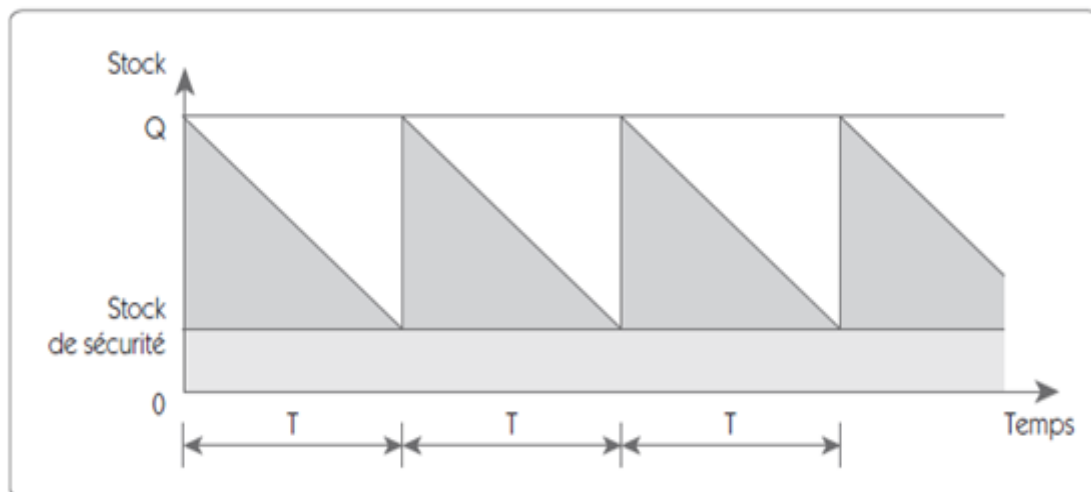


Fig.II-11. Réapprovisionnement à dates fixes et quantités fixes [6]

II.3.2.3.2. Méthode de reapprovisionnement périodique (quantité variable, date fixe)

Le principe de cette méthode, est qu'à chaque unité de temps (période), on lance un ordre d'approvisionnement qui permet de ramener le stock de chaque article au niveau économique (maximum) simultanément.

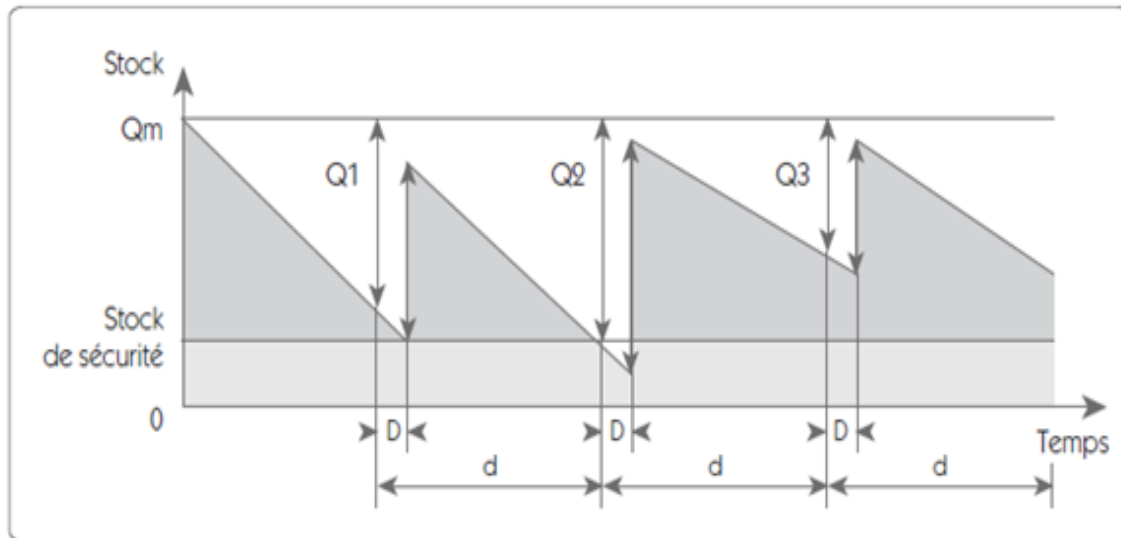


Fig.II-12.Méthode du reapprovisionnement périodique. [6]

➤ Avantages

On constate que cette méthode est caractérisé par:

- Simplicité de la gestion des stocks même en cas de plusieurs articles différents;
- Absences des quantités en surplus à celle du niveau de reapprovisionnement;
- Un faible capital financier immobilisé ou maîtrisé.

➤ Inconvénients

- A certains moments, lorsqu'il y a un abaissement de consommation important, on est obligé de commander des quantités plus éloignées à celle économique, et surtout quand il s'agit des quantités très faibles en présence du coût de lancement,
- Lors d'une augmentation considérable de consommation imprévisionnelle et irrégulière, on ne peut pas éviter la rupture de stock.

En conclusion, l'application de cette méthode est généralement conseillée pour:

- La consommation régulière (pour empêcher le risque de rupture);
- Les articles dont les ruptures ne gênent pas le bon fonctionnement du système de production;
- Les articles coûteux;
- Les articles encombrants.

II.3.2.3.3. Méthode du point de commande (quantité fixe, date variable,)

Dans cette méthode, le lancement d'un ordre de fabrication ou d'achat se fait quand le stock d'un article atteint un seuil nommé le point de commande.

La détermination du niveau du point de commande est basée sur la consommation d'un article le long de la durée comprise entre l'instant de lancement l'ordre d'achat ou de fabrication, et la réception de la commande correspondante sans compter le stock de sécurité.

La quantité commandée est calculé suivant la formule de Wilson, elle est nommée quantité économique (Q_e).

La figure (II-13) explique le principe de cette méthode en cas d'une réception instantanée de la commande.

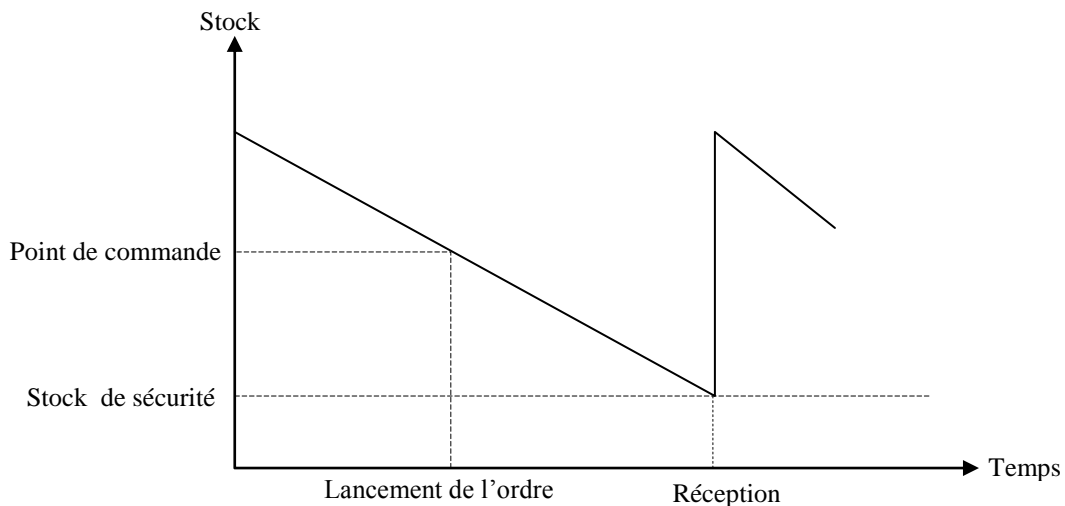


Fig.II.13. Evolution du stock avec réception instantanée

Le niveau du point de commande (PC) est donné par la formule suivante:

$$PC = SS + (C_{moy} \times LT_{moy}) \dots\dots\dots (II-14)$$

Où:

SS: Stock de sécurité

C_{moy} : Consommation moyenne;

LT_{moy} : lead time moyen est le délai moyen entre le lancement et la réception d'une commande, il se compose de plusieurs délais:

- Le délai administratif d'ordonnancement et de transmission d'une commande;
- Le délai de livraison par le fournisseur;
- Le délai administratif de réceptionner la commande.

➤ *Avantages*

Cette méthode est spécifiée par une propriété d'adaptation. Tous les différents aléas et les formes d'irrégularité avant le lancement l'ordre d'approvisionnement n'ont aucune influence sur le stock et en conséquence sur le système de production, mais jusqu'au moment de placement la commande de fabrication ou d'achat, la régularité est indispensable ainsi le respect de délai de livraison, ce qui permet d'empêcher la rupture de stock.

➤ *Inconvénients*

- Cette méthode exige un suivi continu de stock, ce qui peut procurer des coûts supplémentaires élevés.
- La constitution d'un stock de sécurité est indispensable pour cette méthode.

En conclusion:

Cette méthode est appliquée particulièrement pour les produits de classe A, parce qu'elle impose un suivi continu de stock, provoquant une dépense de gestion importante.

II.3.2.3.4. Méthode à quantité et date variable

Cette méthode nécessite une concentration persistante, elle est utilisée généralement pour:

- Les articles onéreux (très coûteux);
- Le prix d'achat de l'article varie fortement;
- La disponibilité de l'article n'est pas incessante;
- Les articles pour la fabrication ou l'assemblage unitaires sont sur commandes.

Chapitre III

Processus des modèles de gestion
proposés

CHAPITRE III: PROCESSUS DES MODELES DE GESTION PROPOSES

III.1. Introduction

L'irrégularité de fonctionnement de n'importe quel système de production soumis à des contraintes internes et externes, se reflète sur les différents acteurs de production, il résulte une désynchronisation entre le flux d'entrée et le flux de sortie dans le stock de matières premières, ce qui provoque des:

- Ruptures en cas d'augmentation du rythme de production ou de réception d'une commande d'approvisionnement différée causée par une perturbation de la chaîne logistique, ou par le fournisseur lui-même;
- Quantités en surplus dans le cas de ralentissement du rythme de production, ou dans le cas de réception d'une commande dans un court délai inattendu.

Pour faire face à ces situations et autres similaires, il est inévitable de suivre une méthode de réapprovisionnement à suivi continu, tel que la méthode d'approvisionnement à point de commande ou la méthode de rechargement périodique.

Mais, malgré leurs avantages et flexibilité, on constate qu'il existe des désynchronisations entre les flux d'entrée et les flux de sorties, et par conséquent les ruptures ou les surplus.

A cet effet, pour faire face à ces situations, empêcher les ruptures de stock, et diminuer au maximum son niveau le long des différentes périodes, nous proposons deux modèles qui sont capables de traiter et gérer ces situations, à cause de leur adaptation et flexibilité.

- Le premier modèle est basé sur la consommation moyenne dynamique instantanée, il peut faire face aux différentes fluctuations de système de production causées par l'instabilité du rythme de production,
- Le deuxième modèle est basé sur le suivi continu de la chaîne logistique, il prend la variation du délai de livraison en considération.

Pour bien exposer nos approches, nous présentons ses influences sur les deux méthodes de réapprovisionnement classique à suivi continu, la méthode de réapprovisionnement de point de commande, et la méthode de rechargement périodique.

III.2. Présentation de la première approche proposée (Moyenne dynamique instantané de consommation)

La chaîne logistique est un facteur très important qui influe sur le prix de revient de n'importe quel produit. A cet effet, les différents systèmes de production suivent des méthodes de réapprovisionnement à suivi continu, car elles permettent d'améliorer les performances productives et éliminer toute forme de gaspillage. Parmi ces méthodes classiques, on trouve la méthode de réapprovisionnement de point de commande et la méthode de rechargement périodique.

Notre contribution est d'améliorer l'efficacité de ces deux méthodes, en proposant une approche étendue à celle classique, mais basée sur la moyenne dynamique instantanée de la consommation.

III.2.1. L'influence de la moyenne dynamique instantanée sur la méthode de réapprovisionnement à point de commande

L'irrégularité de la production d'un système de production est apparente sous forme de :

- Baissement de consommation;
- Augmentation de consommation ;
- Diminution et augmentation de consommation itérative et aléatoire.

III.2.1.1. Cas où il y a un baissement de production (diminution de consommation)

Supposons l'exemple (1) d'évolution d'un stock représenté dans la figure ((III-1).

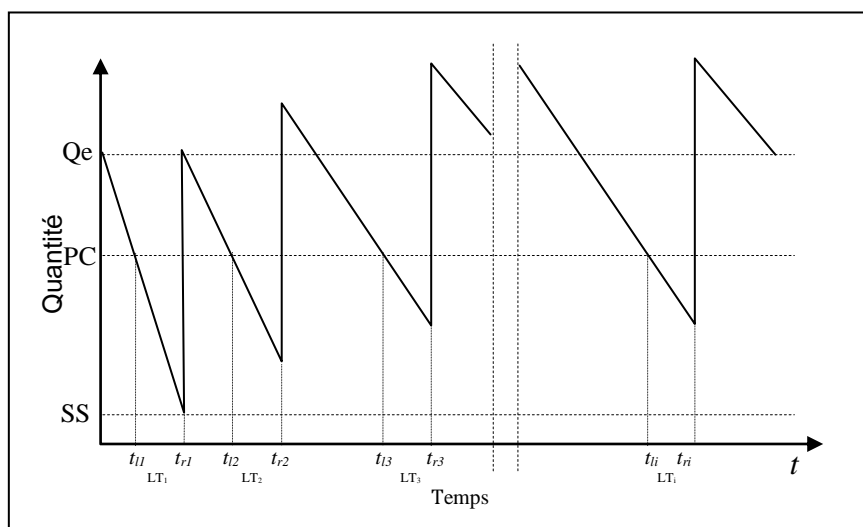


Fig.III.1. Evolution d'un stock en cas de baissement de consommation par la méthode à point de commande classique

L'équation qui détermine le niveau du point de commande est:

$$PC = C_{moy} \cdot LT_{moy} + SS \dots\dots\dots (III.1)$$

t_{li} : temps de lancement l'ordre de la commande (i)

t_{ri} : temps de réception de la commande (i) lancée à t_{li}

LT_i : lead time de la commande (i) [durée comprise entre t_{ri} et t_{li}]

$$t_{ri} = t_{li} + LT_i \dots\dots\dots (III.2)$$

Si on considère que LT_i est constant, et égal à LT_{moy} ;

$$t_{ri} = t_{li} + LT_{moy} \dots\dots\dots (III.3)$$

Avec le temps, il résulte :

- Que lors de la réception d'une commande, la quantité stockée est supérieure à celle économique (Q_e) ;
- Quantité surplus procrée dans le stock pendant une durée étendue (durée de l'irrégularité), et par conséquent l'augmentation du coût de stockage.

Modèle proposé

Pour garder les mêmes paramètres d'optimisation (quantité économique, coût total de stockage), et par conséquent les attributions de la méthode de réapprovisionnement à point de commande, il suffit de considérer le point de commande (PC) comme une variable $(PC)_i$ qui dépend du rythme de production instantanée à partir de considérer la consommation moyenne une variable dynamique instantanée $C_{(moy)i}$. Cette approche est représentée par le modèle suivant:

$$(PC)_i = C_{(moy)i} \cdot LT_{moy} + SS$$

Avec:

$C_{(moy)i}$: Consommation moyenne pendant la durée comprise entre t_i et $(t_r)_{i-1}$

t_i : Instant actuel ;

$(t_r)_{i-1}$: Temps de réception de la commande antérieure ($i-1$)

Avec cette procédure, malgré la perturbation de production, on obtient théoriquement le nouveau modèle représenté dans la figure (III-2).

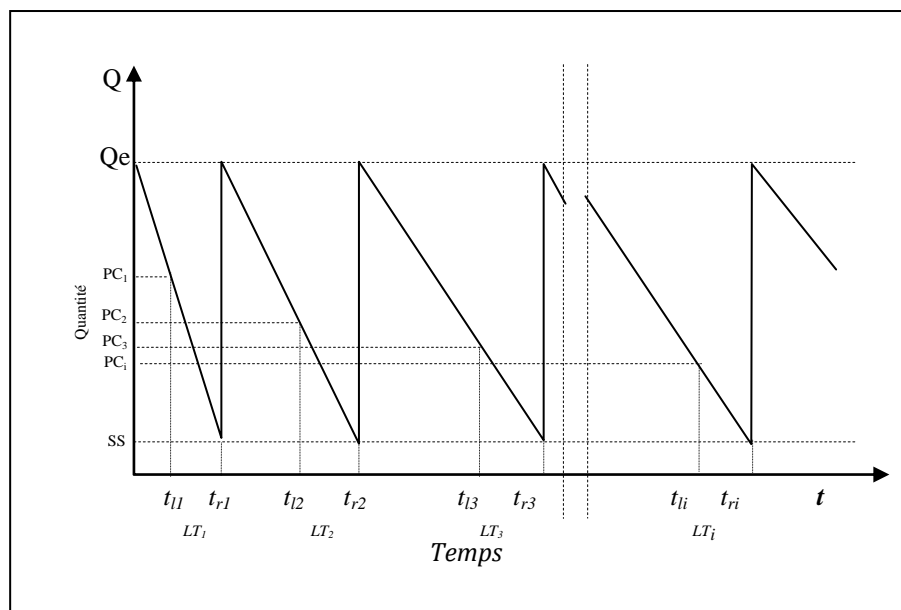


Fig.III.2. Evolution d'un stock en cas de baisse de consommation par la nouvelle approche

La présentation d'évolution du stock (entrées et sorties) suivant l'approche proposée montre clairement la disparition totale des quantités au dessus de la quantité économique pendant la durée de production, grâce à son adaptation avec le rythme de production.

Comme $(PC)_i$ dépend proportionnellement de la consommation antérieure (la moyenne entre t_i et $(t_r)_{i-1}$), il prend des valeurs de moins lorsqu'il y a un baissement de cadence de production, ce qui reporte l'ordre du lancement ainsi que la réception, et à cet effet il évite des quantités surplus en stock.

III.2.1.2. Cas où il y a une augmentation le rythme de production (augmentation de consommation)

Supposons l'exemple (2) qui représente l'évolution irrégulière d'un stock causé par des contraintes des demandes supérieures à celle antérieures, provoquant des ruptures.

Si on considère que LT_i est constant, et égal à LT_{moy} ;

$$t_{ri} = t_{li} + LT_{moy} ;$$

On obtient une évolution de stock indiquée sur la figure (III-3).

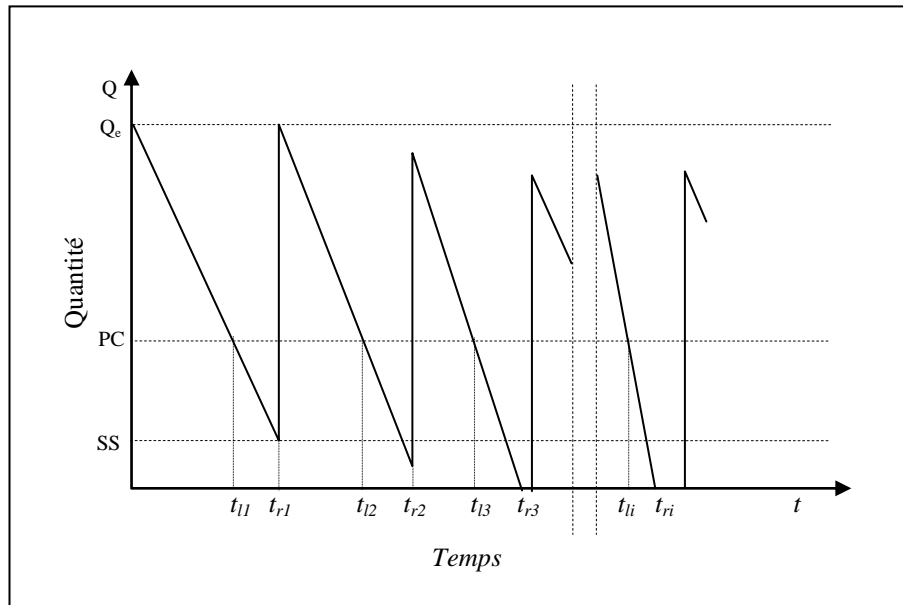


Fig.III.3. Evolution d'un stock en cas d'augmentation de consommation par la méthode à point de commande classique

Avec le temps au cours de la production, il résulte l'existence de plusieurs ruptures de stock ainsi de production.

Pour éviter cette situation, on doit appliquer la même procédure précédente considérant la valeur du point de commande comme une variable $(PC)_i$, elle est déterminée après chaque réception en fonction de la cadence de production au cours de cette nouvelle période.

A cet effet, on propose le modèle figuré (III-4).

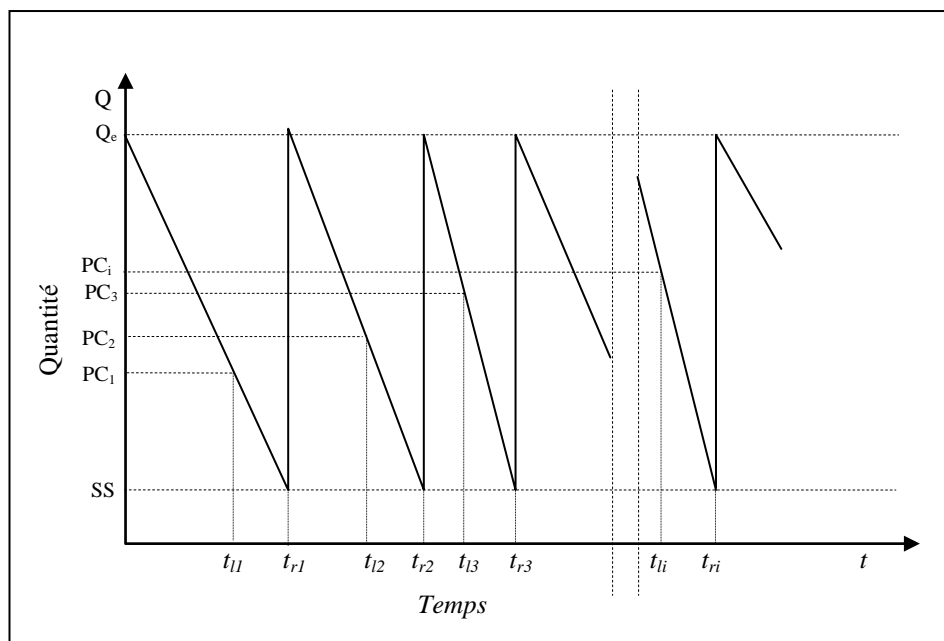


Fig.III. 4. Evolution d'un stock en cas d'augmentation de consommation par la nouvelle approche

On remarque qu'après l'application de la nouvelle approche (considérer le point à commande comme une variable), Il n'y a plus de rupture de stock, et même pas besoin d'entamer le stock de sécurité (considérons le lead time moyen comme une constante) grâce à l'adaptation du système de réapprovisionnement au rythme de production ; de telle sorte que $(PC)_i$ prenne des valeurs supérieures lorsqu'il y a une augmentation de cadence de production, ainsi une réception avancée par rapport à celle classique; par conséquent , on évite la rupture du stock.

V.2.1.3. Cas où il y a un baissement et une augmentation de consommation itérativement

Supposons l'exemple suivant d'évolution d'un stock de matières premières qui alimenté un système de production, ce dernier subit des contraintes internes influent sur son bon fonctionnement.

Le dysfonctionnement du système de production à son tour influe sur la synchronisation du stock d'une façon aléatoire. La figure suivante indique schématiquement l'effet de cette fluctuation sur le stock

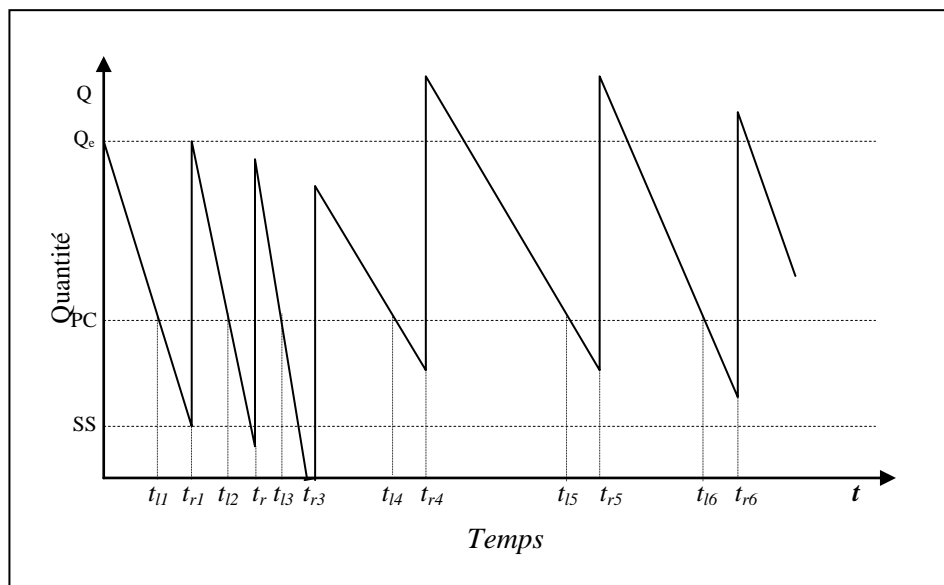


Fig.III.5. Evolution d'un stock en cas d'augmentation et de diminution de consommation par la méthode à point de commande classique

Dans cet exemple, on remarque l'existence de deux phénomènes non souhaitables en même temps :

- Une rupture de stock, à cause de l'augmentation de la cadence de production au cours des périodes concernées;
- Des quantités en surplus par rapport à la quantité économique (Q_e) à cause de la diminution de la cadence de production pendant ces périodes.

Et pour résoudre ces deux problèmes simultanément, on introduit l'approche proposée dans la méthode de réapprovisionnement de point de commande, en remplaçant la moyenne par la moyenne dynamique instantanée, où elle varie d'une période à autre dans les deux sens. Cela influe sur le calcul du point de commande dans chaque période, ce dernier devient aussi une variable dynamique qui s'adapte avec les différentes évolutions irrégulières du stock.

Elle nous donne les résultats présentés dans la figure (III-6).

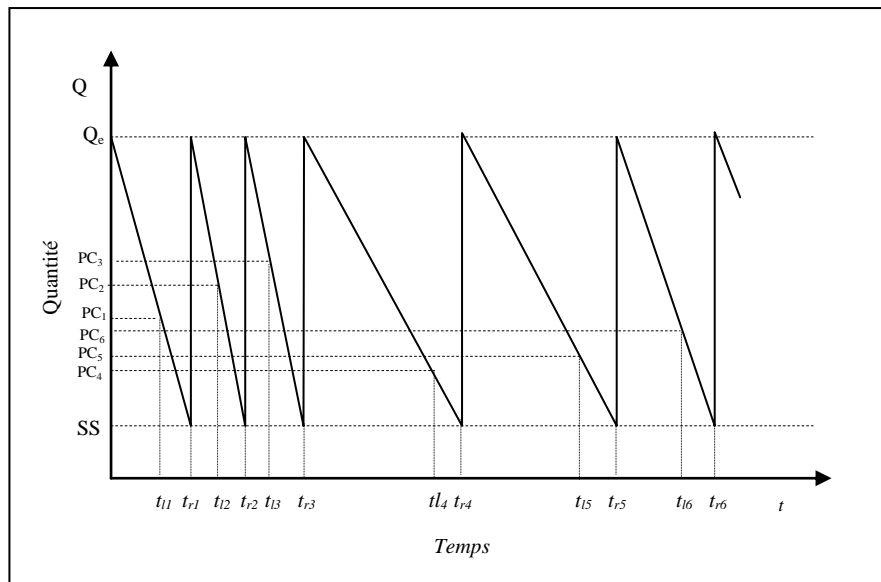


Fig.III.6. Evolution d'un stock en cas d'augmentation et de diminution de consommation par la nouvelle approche

Les différentes ruptures et les différents cas de surplus en stock présentés dans la figure(III.5) sont disparus après l'application de la nouvelle approche de réapprovisionnement de point de commande dynamique grâce à l'adaptation de cette dernière aux différentes situations de fluctuation du système productif. La valeur du point de commande $(PC)_i$ varie en fonction du rythme de production, elle prend des valeurs de moins lors du baissement de cadence du travail pour éviter des quantités en surplus, et prend des valeurs supérieures lors de l'augmentation du rythme de production afin d'empêcher la rupture de stock.

III.2.2. L'influence de l'approche proposée "Moyenne dynamique instantanée" sur la méthode de reapprovisionnement périodique

L'irrégularité de la consommation du stock causée par la fluctuation du système de production soumis à des contraintes non prévisibles provoque un état inhabituel, apparu sous forme d'abaissement ou d'accroissement du rythme de production.

III.2.2.1. Cas où il y a un accroissement de consommation

Dans ce cas il existe une cadence de production élevée par rapport à celle habituelle, et si cette situation conserve son augmentation d'une manière continue ou successive, le stock de sécurité ne peut pas couvrir la demande, et une rupture devient inévitable.

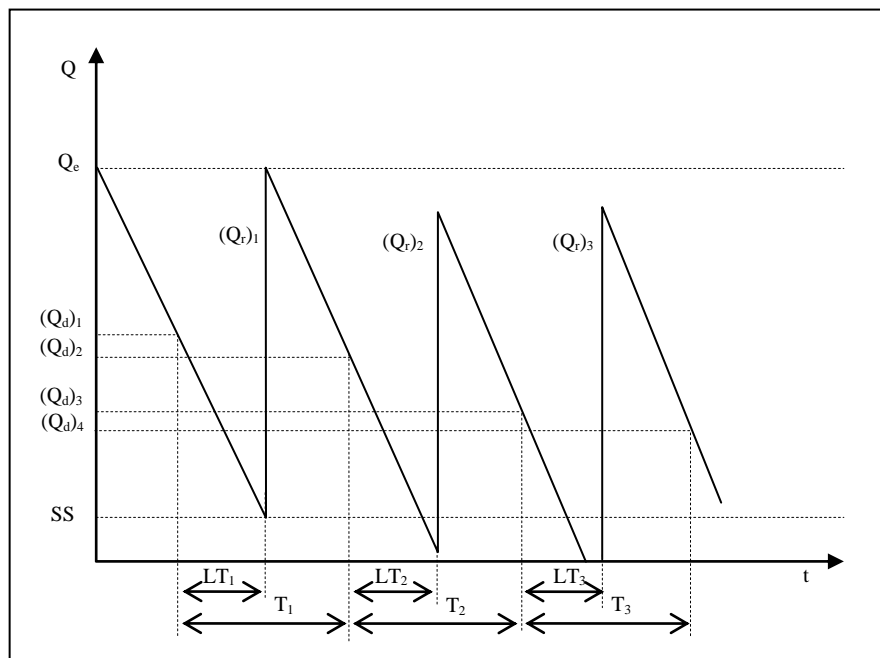


Fig.III.7 Evolution d'un stock en cas d'accroissement le rythme de consommation par la méthode de reapprovisionnement périodique classique

$$(Q_r)_i = [Q_e - (Q_d)_i] + (C_{moy}) \times LT_{moy} + SS \dots \dots \dots (III.5)$$

- (Q_r)_i: Quantité réceptionnée (demandée à t_i)
- Q_e: Quantité économique (Niveau de reapprovisionnement)
- (Q_d)_i: Quantité disponible en stock à l'instant t_i
- (C_{moy}): Consommation moyenne
- LT_{moy}: délai de réception de la quantité demandée
- SS : Stock de sécurité

Pour éviter la rupture du stock pendant T_3 et les périodes suivantes, s'il ya une continuité de cette situation et en gardant les mêmes paramètres et procédure de la méthode en sujet, et par conséquence, les attributions de la méthode de réapprovisionnement de recombplètement.

On applique l'approche de la moyenne dynamique instantanée proposée illustrée théoriquement sur le nouveau modèle suivant :

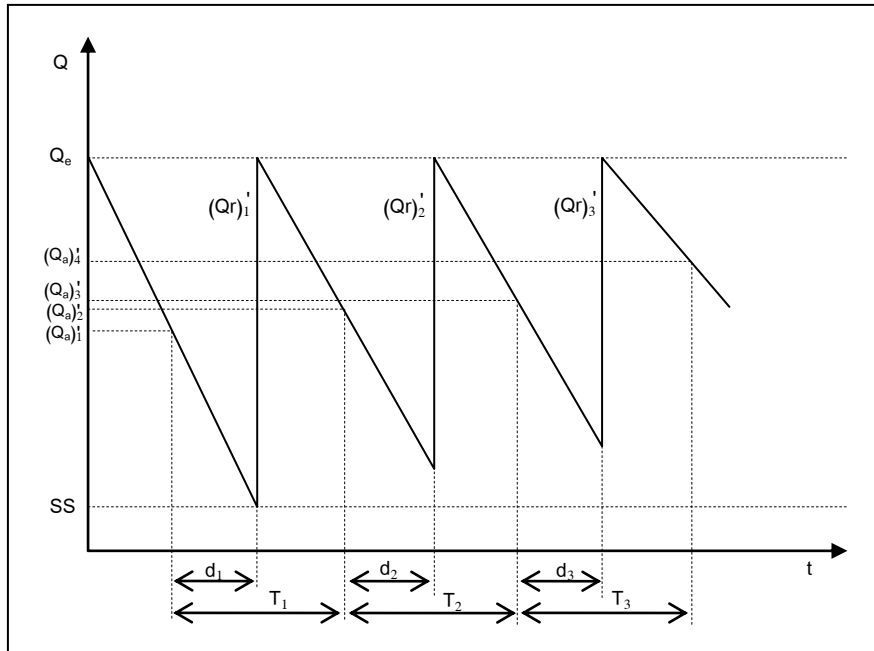


Fig.III.8 Evolution d'un stock en cas d'accroissement le rythme de consommation selon l'approche proposée

$$(Q_r)_i = [Q_e - (Q_d)_i] + (C_{moy})_i \times LT_{moy} + SS \dots \dots \dots (III. 6)$$

Avec:

$(C_{moy})_i$: Consommation moyenne dynamique à l'instant t_i (entre dernière réception et t_i)

On remarque la disparition de la rupture du stock, grâce à la flexibilité du nouveau système de réapprovisionnement et son adaptation avec l'augmentation du rythme de consommation par le nouveau facteur $(C_{moy})_i$ qui est calculé entre la dernière réception (i-1) et l'instant actuel de la demande. C'est pour cela la quantité $(Q_r)_i$ prend des valeurs en plus, qui recouvre toute la période et ne dépasse pas le niveau économique.

III.2.2.2. Cas où il y a abaissement de la consommation

Pour une démonstration claire on prend l'exemple théorique d'évolution d'un stock représenté sur la figure (III-9).

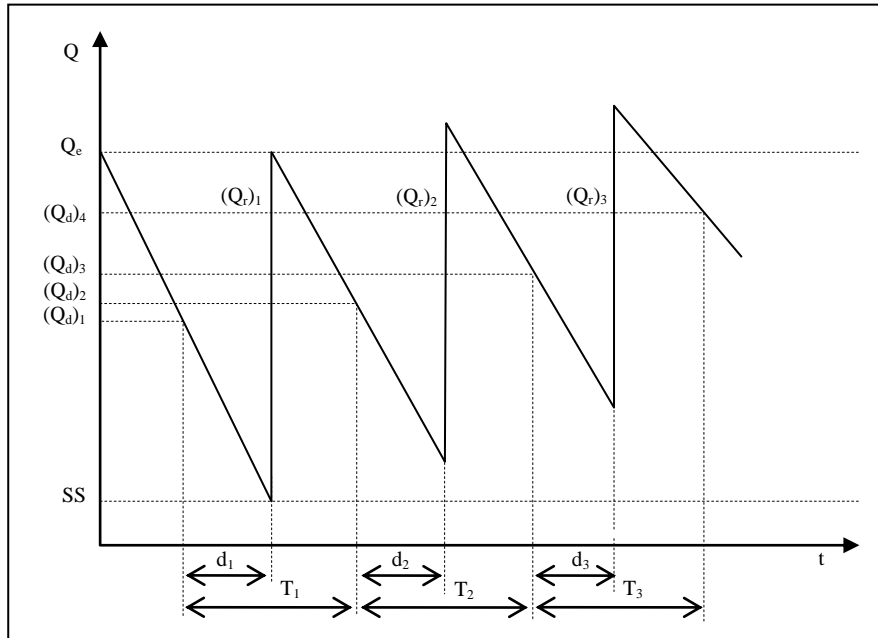


Fig.III.9. Evolution d'un stock en cas d'abaissement le rythme de consommation selon la méthode de reapprovisionnement périodique classique

Dans ce cas, on constate selon la figure (III.9) qu'il existe deux phénomènes non souhaitables dans la bonne gestion des stocks:

- Une quantité supérieure à la quantité économique (Q_c) d'une façon répétitive causée par la quantité ($C_{moy} \times LT_{moy}$) qui est supérieure à la consommation réelle pendant le délai de livraison.
- Une quantité considérable immobilisée supérieure au niveau du stock de sécurité durant toute la période de l'irrégularité, et par conséquent une augmentation du coût de stockage, avec un capital bloqué.

Afin d'éliminer ces phénomènes, et garder la même procédure, on applique l'approche proposée qui est capable d'équilibrer et synchroniser la consommation avec l'approvisionnement, et on obtient théoriquement le nouveau modèle représenté dans la figure(III-10).

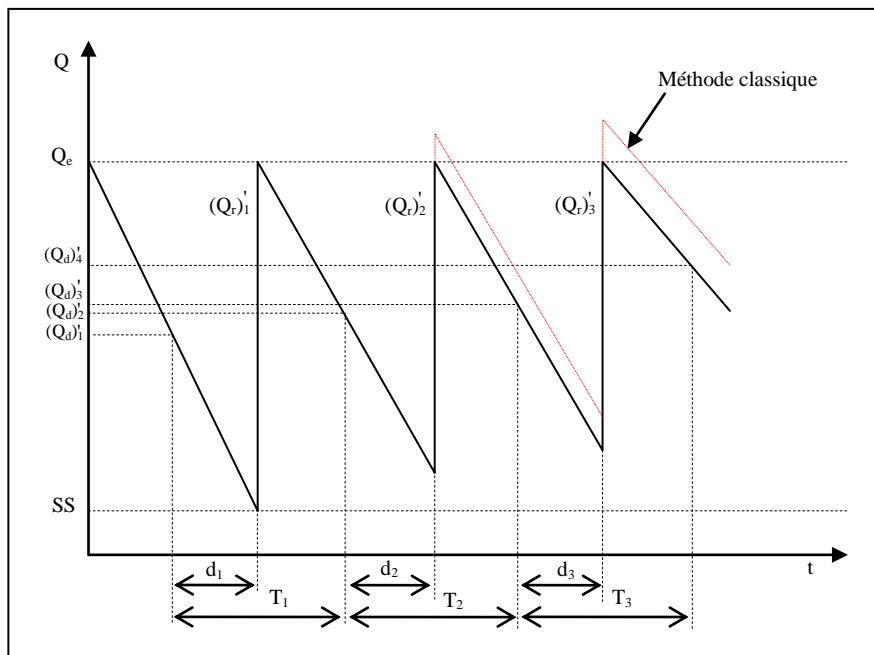


Fig.III.10. Evolution d'un stock en cas d'abaissement le rythme de consommation selon l'approche proposée

L'application de l'approche proposée rend le stock ôté des quantités en surplus durant toute la période de baisse du rythme de consommation, ainsi, elle provoque une diminution considérable de la quantité immobilisée, car la valeur de $(C_{moy})_i$ qui est dépendante de la récente variation, où elle est calculée entre la réception de la dernière commande de réapprovisionnement et le moment de lancement de la commande actuelle, provient une adaptation du stock avec les différentes situations d'irrégularité.

III.2.2.3. Cas où il y a un baissement et une augmentation de consommation itérativement

Supposons que l'évolution d'un stock de matières premières qui approvisionné un système de production suivant la méthode de rechargement périodique classique, qui subit à des contraintes d'indisponibilité de quelques acteurs de production, influent négativement sur son bon fonctionnement pendant une période considérable, ce qui résulte l'existence des quantités en surplus, et des quantités importantes immobilisées, comme l'on a vu dans le premier exemple. Mais lors de disparition le dysfonctionnement du système de production, ce dernier essaye d'augmenter son rythme de production pour des raisons de respect des délais de livraison de son produit et pour d'autres raisons économiques.

Cette situation non prévisible influe sur le système d'approvisionnement et provoque des ruptures en stock de matières premières comme l'on a vu précédemment.

L'application de l'approche proposée et à cause de sa flexibilité et son adaptation avec les différentes variations de période à autre, permet de:

- Dans la période de dysfonctionnement: éliminer les quantités en surplus et diminuer d'une manière considérable les quantités immobilisées,
- Dans les périodes d'enlèvement le rythme de production: empêcher les ruptures de stock, ou réduire la durée de rupture en cas d'un rythme de production très élevé par rapport au rythme régulier.

III.3. Présentation de la deuxième approche proposée (Moyenne dynamique instantanée du délai d'approvisionnement)

La chaîne logistique est soumise à plusieurs contraintes l'empêchant à approvisionner le système de production, elle se base sur certains facteurs pour accomplir sa fonction dans des meilleures conditions.

Le délai de livraison, est le critère le plus primordial qui spécifié la chaîne logistique, il est la source de tristesse des meneurs/gestionnaires de systèmes de production. C'est pourquoi on ne peut pas imaginer un système de production sans stock, et on considère son constitution incontournable, malgré qu'il provoque des inconvénients catastrophiques, il implique:

- Immobilisation de moyens financiers importants, selon [4], ils peuvent avoir jusqu'à 30% du capital immobilisé.
- Utilisation d'espace,
- Occultation d'insuffisances graves en matière de prévision et de gestion.

Malgré tout ça, on peut dire que les stocks sont utiles et nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de l'entreprise.

Vu l'investissement considérable et improductif que constituent les stocks, il est impératif, pour toute entreprise, de tenter de les minimiser et garder un niveau capable de couvrir les besoins en aval.

Parmi les solutions qu'il faut utiliser, celles qui sont relatives à la chaîne logistique. Dans ce contexte, l'approche proposée au sujet, est basée sur l'incertitude de réapprovisionnement causée par la variation du délai de livraison, et le considère comme une variable dynamique.

Cette approche nécessite un suivi continu, c'est pourquoi on a choisi la méthode de réapprovisionnement de point de commande, afin de démontrer l'adaptation de ces méthodes avec l'approche proposée.

Par contre on a éliminé la méthode de reapprovisionnement périodique, parce que l'avantage principal de cette dernière, est la stabilité de sa chaîne logistique, tel que les fournisseurs sources, les intermédiaires et les moyens logistiques.

Le moment de la commande est programmé à l'avance chez tous les collaborateurs de la chaîne logistique, et reste uniquement la valeur de la quantité demandée.

Et comme dans notre approche proposée, on considère une consommation régulière, cela signifie que la quantité demandée à chaque période est stable.

Dans ce cas on a une demande uniformément stable où les périodes sont connues et programmées, on ne donne qu'un délai de livraison bien déterminé et dans des normes acceptables.

C'est pour cela la variation du délai de livraison est tolérée, et l'application de notre approche ne trouve pas une place dans ce cas.

III.3.1. L'influence de la moyenne dynamique instantanée du délai d'approvisionnement sur la méthode de réapprovisionnement à point de commande

En gestion des stocks, les situations de rupture et de formation des quantités en surplus contribuent d'une manière significative à augmenter les différentes dépenses liées au stock.

C'est pour cela, pas mal de systèmes de production suivent la méthode de réapprovisionnement de point de commande de leur chaîne logistique, à cause de sa flexibilité et son adaptation.

On constate que le délai de livraison est un facteur très important qui influe sur l'évolution du stock. La méthode de réapprovisionnement de point de commande nécessite un suivi continu de consommation, afin de déclencher l'ordre de réapprovisionnement.

Notre idée, est de faire le suivi continu sur le délai de livraison, avec une prévision et estimation future basée sur des données antérieures, et tient en compte les différentes contraintes futures, à l'aide d'une bonne collaboration avec les fournisseurs.

Par la suite, on transforme le point de commande (PC) en une variable en fonction du délai de livraison (PC)_i nommée point de commande dynamique instantanée.

III.3.1.1. Cas où il y a augmentation du délai de livraison

L'augmentation du délai de livraison, (c-à-dire une réception d'une commande d'approvisionnement retardée) provoque un état irrégulier dans le stock de matières premières. Un dépassement du délai moyen jusqu'au délai supérieur est couvert par le stock de sécurité qui est constitué pour cette raison.

Mais une augmentation qui dépasse l'intervalle toléré conduit à une rupture inévitable du stock d'approvisionnement et en conséquence, elle conduit à un dysfonctionnement du système de production.

Pour bien clarifier la situation, supposons l'exemple d'évolution d'un stock indiquée sur la figure (III.11), et pour des raisons de simplification, nous considérons que la consommation est dans un état idéal de régularité.

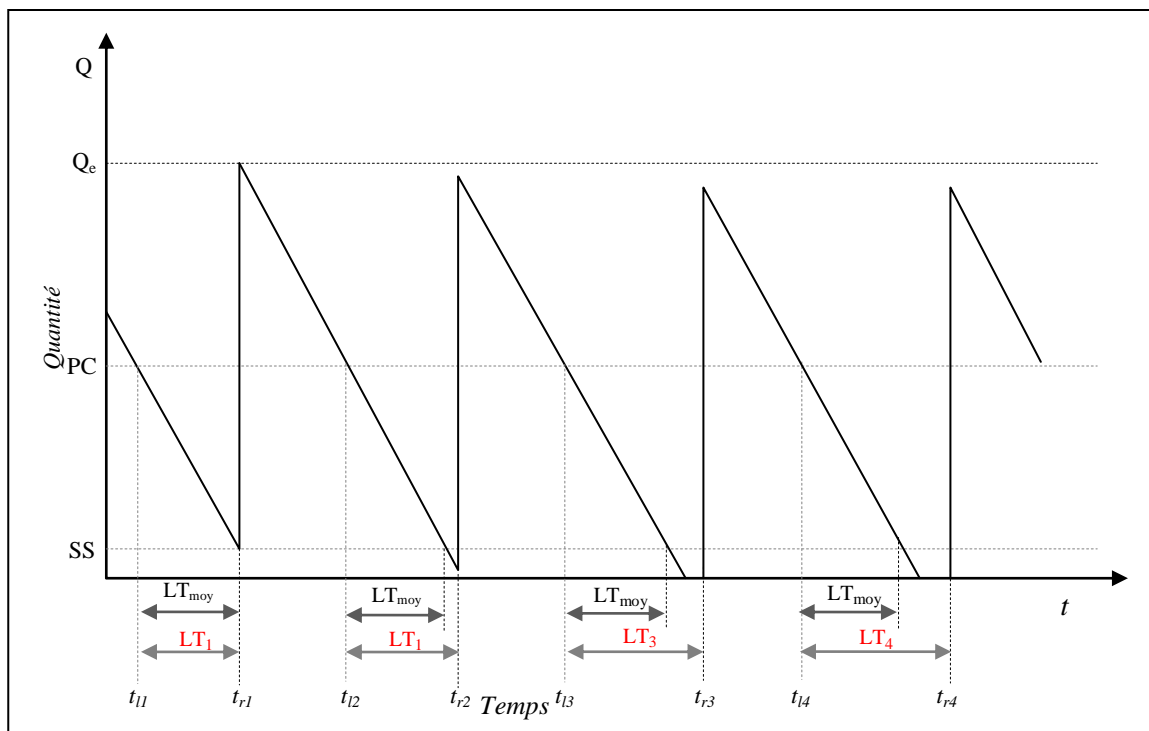


Fig.III.11. Evolution d'un stock en cas d'augmentation le délai de livraison suivi par la méthode à point de commande classique

t_i : Instant actuel ;

$(t_l)_i$: Temps de lancement de la commande à l'instant (i)

$(t_r)_i$: Temps de réception de la commande à l'instant (i)

Q_e : Quantité économique

LT_{moy} : Lead time moyen usuel .

LT_i: Lead time effectif à (t_r)_i

On remarque que le dépassement du délai de livraison à celui moyen, provoque une exploitation du stock de sécurité, mais pour une augmentation supérieure, il ya des ruptures d'une durée proportionnelle à celle de rupture.

Application du modèle proposé

En gardant les mêmes paramètres d'optimisation (quantité économique, point de commande), et par conséquent les attributions de la méthode de réapprovisionnement de point de commande, et en considérant le point de commande (PC) comme une variable qui dépend au délai de livraison.

Ce délai est déterminé chaque fois après la réception de la dernière commande et avant le lancement de l'ordre d'achat ou fabrication, à partir d'un suivi continu qui prend en considération toutes les données influant sur lui. Telles que :

- Les données statistiques passées et courantes de la chaîne logistique;
- Les différentes contraintes agissant sur les différents facteurs de la chaîne logistique;
- La coordination continue avec les fournisseurs et les sous-traitants pour la bonne estimation du délai, même aux périodes sans commande en cours;
- La Coordination avec les entreprises intermédiaires qui ont des contributions directes ou indirectes avec la matière approvisionnée

A cet effet, le point de commande sera déterminé comme suit:

$$(PC)_i = C_{(moy)} \cdot (LT_{moy})_i + SS$$

Avec

C_(moy): Consommation moyenne (considéré constante)

(PC)_i: le point de lancement la commande à l'instant (i)

(LT_{moy})_i: Le lead time (délai de livraison) moyen à l'instant (i)

Avec cette procédure, on obtient théoriquement le nouveau modèle représenté dans la figure(III-12), malgré le dépassement du délai de livraison:

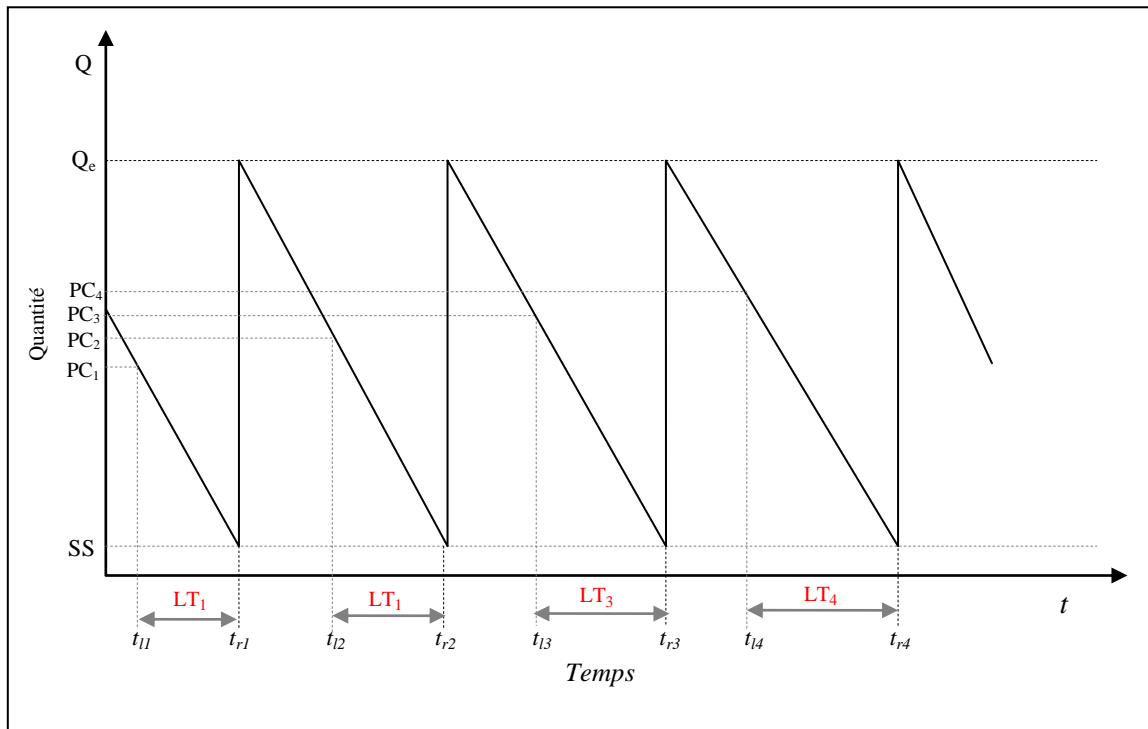


Fig.III-12 Evolution d'un stock en cas d'augmentation le délai de livraison
suivi par l'approche proposée

On remarque qu'après l'application de la nouvelle approche (considérer le point de commande comme une variable dépendante du délai de livraison), et on considère une régularité et stabilité de la consommation, il n'y a plus de rupture de stock, et même pas d'exploitation du stock de sécurité, grâce à l'adaptation du système de réapprovisionnement au variation du délai de livraison, de telle sorte que $(PC)_i$ prenne des valeurs supérieures lorsqu'il y a une augmentation du délai, ainsi une réception avancée, et par conséquence , on évite la rupture du stock.

III.3.1.2. Cas où il y a diminution du délai de livraison

La diminution du délai de livraison, (c-à-dire une réception d'une commande d'approvisionnement avancée) provoque un état irrégulier dans le stock de matières premières. Une réception d'une commande avant le délai moyen contribue à la création et la constitution des quantités en surplus par rapport au niveau de la quantité économique, et en conséquence des dépenses de stockage et de possession supplémentaires, ainsi un capital important immobilisé.

Pour bien éclaircir la situation, supposons l'exemple d'évolution d'un stock (considérons toujours la consommation est régulièrement stable) représenté par la figure(III-13).

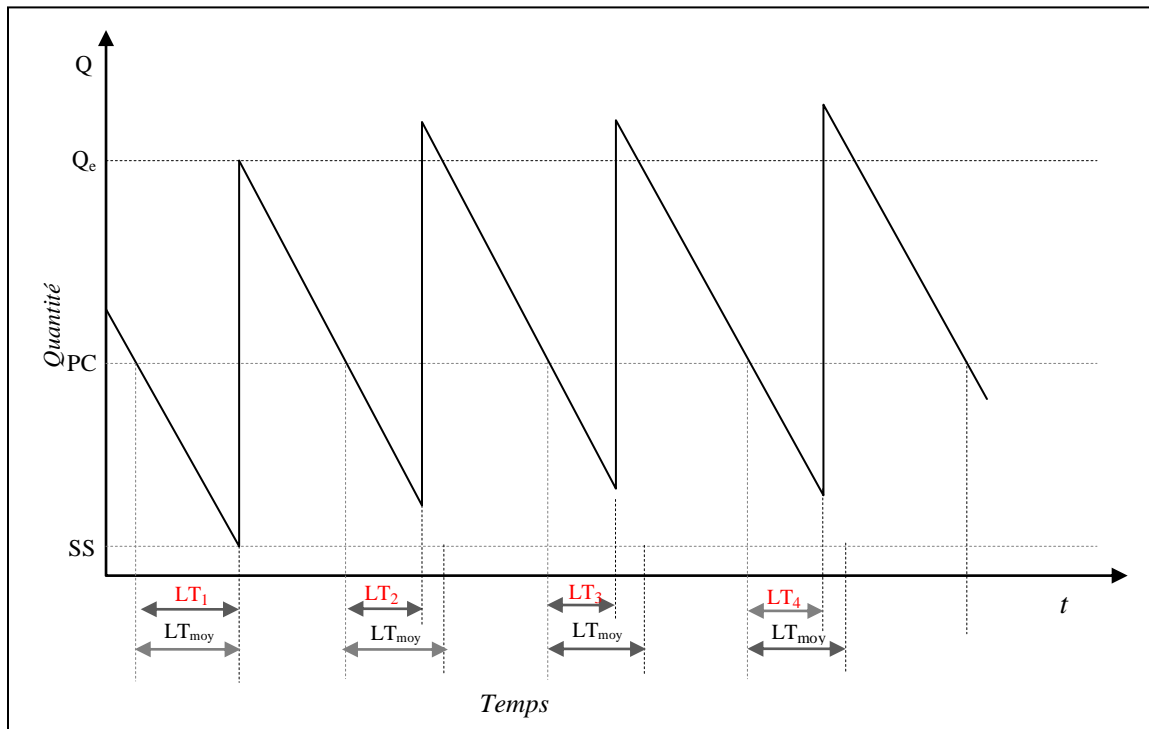


Fig.III.13. Evolution d'un stock en cas de réception des commandes avancées
suivi par la méthode à point de commande classique

On constate que:

- lors de la réception d'une commande avancée ($LT_i < LT_{moy}$), la quantité stockée est supérieure à celle économique (Q_e), d'où l'apparition des quantités en surplus;
- des quantités importantes supérieures au stock de sécurité sont procurées dans le stock pendant une durée étendue (durée de l'irrégularité), par conséquent, l'augmentation du coût de stockage, ainsi le risque de dégradation de quelques produits.

Application du modèle proposé

En gardant les mêmes paramètres d'optimisation (quantité économique, le point de commande), on garde les attributions de la méthode de réapprovisionnement de point de commande, et on considère le point de commande $(PC)_i$ comme une variable qui dépend du délai de livraison qui est variable.

$$(PC)_i = C_{(moy)} \cdot (LT_{moy})_i + SS$$

Avec cette procédure, on obtient théoriquement le nouveau modèle représenté dans la figure(III-14).

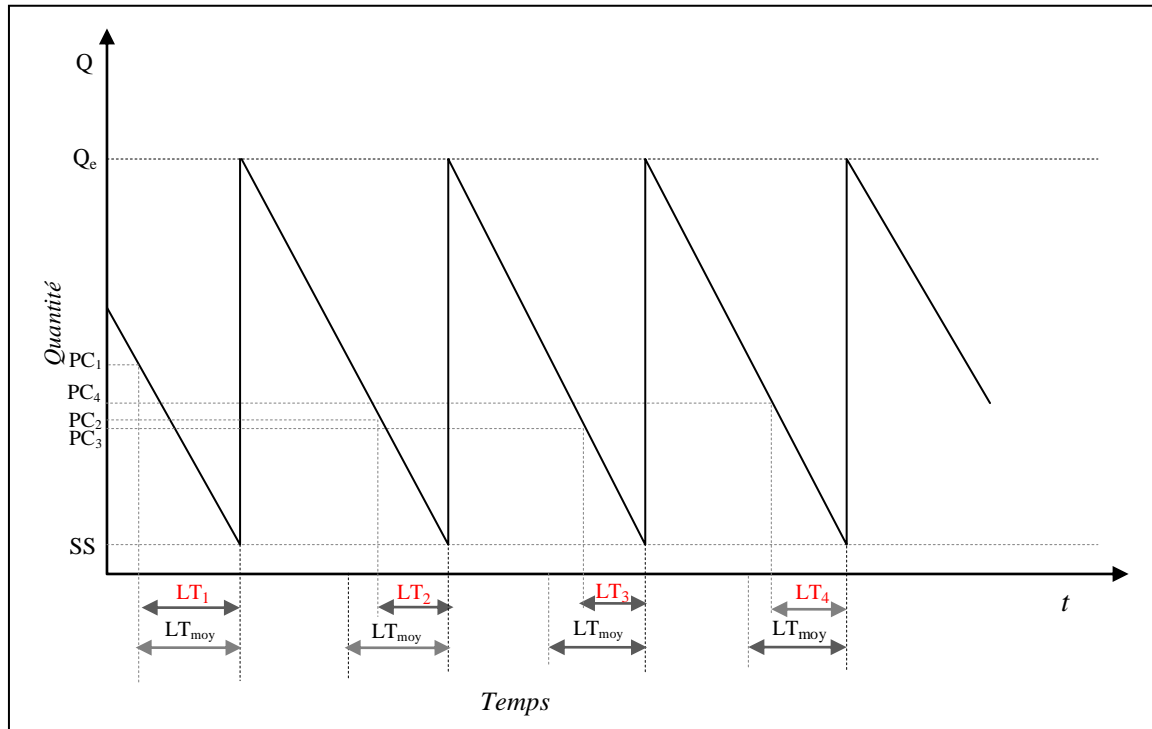


Fig.III.14 Evolution d'un stock en cas de réception des commandes avancées
suivi par la proche proposée

L'application de l'approche proposée, nous donne une évolution du stock sans formation des quantités en surplus, et sans accumulation des quantités immobilisées au dessus du stock de sécurité, par conséquence, nous évite des dépenses auxiliaires.

III.3.4. Conclusion:

On a vu quand il s'agit d'une irrégularité répétitive dans un système de production fluctuant qui suit une méthode de réapprovisionnement à suivi continu, tel que la méthode de point de commande et la méthode de rechargement périodique, et à cause des différentes contraintes, il résulte une désynchronisation entre le flux d'entrée et le flux de sortie, ce qui provoque:

- Des ruptures de stocks en cas d'augmentation du rythme de production, ça produit des coûts de ruptures et parfois des coûts de pénalité de retard,
- Des quantités en surplus en cas de baisse du rythme de production, par conséquence un capital important immobilisé.

Afin de résoudre ces problèmes, on a contribué par deux approches:

1. Première approche: basée sur la moyenne dynamique instantanée de la consommation, permet d'empêcher les ruptures de stock en cas d'augmentation du rythme de production, et évite la constitution des quantités en surplus en cas de baissement du rythme de consommation, à cause de ses critères de flexibilité et d'adaptation:

Pour la méthode de point de commande: (PC) transformée à une variable $(PC)_i$ en fonction de la variation de la consommation;

Pour la méthode de reemplètement périodique: Lors de lancement d'une commande, la quantité demandée prend une valeur correspondante au rythme de production.

2. Deuxième approche: basée sur la moyenne dynamique instantanée du délai de livraison:

Pour simplifier la présentation du deuxième modèle, on considère une consommation régulière, alors que le point de commande (PC) devient variable $(PC)_i$. Ce qui permet d'empêcher la rupture des stocks en cas d'augmentation le délai de livraison et éviter la constitution des quantités en surplus dans le cas contraire.

Ce modèle est applicable aux méthodes dont les délais de livraison sont perturbés.

Chapitre IV

Applications pour validation

CHAPITRE IV: APPLICATIONS POUR VALIDATION

IV.1. Introduction

Afin de valider notre modèle proposé basé sur la consommation dynamique instancé pour les deux méthodes de réapprovisionnement, on a effectué une recherche sur plusieurs systèmes de production qui suivent l'une des méthodes de réapprovisionnement de notre étude et qui subissent une irrégularité de production à cause des contraintes généralement externes.

On a choisi l'entreprise nationale «ALFAPIPE » unité d'Annaba, pour l'application de la méthode d'approvisionnement à point de commande, et l'entreprise (SARL DELIBA) spécialisée en fabrication des tuyaux en PVC, pour l'application de la méthode d'approvisionnement de remplètement périodique.

IV.2. Application 01: La méthode d'approvisionnement à point de commande

Au niveau de l'entreprise de fabrication des tubes « ALFAPIPE », dont le système de fabrication fonctionne d'une façon irrégulière en mode continu 24^h/24^h, provoquant une situation similaire pour le système de réapprovisionnement par la matière première « bobines » qui suit la méthode à point de commande classique; le fournisseur de l'entreprise « Arcelor Métal » est informé par la quantité globale de bobines nécessaires pendant une période donnée, avec les différentes caractéristiques de chaque projet, mais à cause de l'insuffisance d'espace de stockage et pour d'autres raisons, la livraison se fait le long de la durée de production par des lots de 150 bobines après 08 jours de chaque demande.

Durant trois mois successifs, on a suivi l'évolution du stock de bobines selon la méthode utilisée et on l'a enregistrée dans les tableaux (IV-1, IV-2, IV-3).

Parallèlement, on a introduit la méthode proposée au jeu (méthode de point de commande dynamique), et on a signalé les différents mouvements et calculs nécessaires inscrits dans les mêmes tableaux, soutenus par un graphe présentant l'évolution du stock provenant de chaque méthode par deux courbes distinctes.

Pour la méthode de réapprovisionnement à point de commande classique, le calcul se fait comme suit :

On a :

$$PC = SS + C_{moy} \cdot LT_{moy}$$

En sachant que les données sont:

$SS = 50$ bobines ;

$LT_{\text{moy}} = 8$ jours ;

$C_{\text{moy}} = 15$ bobines/jour;

D'où $PC = 170$ bobines

Et pour l'approche proposée (point de commande dynamique) ; le calcul se fait comme suit :

$$(PC)_i = SS + (C_{\text{moy}})_i \cdot LT_{\text{moy}}$$

$(C_{\text{moy}})_i$: est calculé à partir de la consommation de la journée correspondante à la dernière réception jusqu'à l'instant (t_i)

IV.2.1. Résultats :

Les résultats des méthodes étudiées durant les trois mois, sont enregistrés dans les tableaux suivants:

1^{er} Mois :

Ordre des jours	Consommation (C _i)	Méthode classique			Nouvelle approche				
		Etat du stock	Ordre de lancement	Réception	Etat du stock	(C _{moy}) _i	PC _i	Ordre de lancement	Réception
		180			180				
1	15	165	150		165	15.00	170.00	150	
2	14	151			151	14.50	166.00		
3	15	136			136	14.67	167.33		
4	17	119			119	15.25	172.00		
5	16	103			103	15.40	173.20		
6	15	88			88	15.33	172.67		
7	14	74			74	15.14	171.14		
8	13	211		150	211	13.00	154.00		150
9	10	201			201	11.50	142.00		
10	13	188			188	12.00	146.00		
11	14	174			174	12.50	150.00		
12	12	162	150		162	12.40	149.20		
13	13	149			149	12.50	150.00	150	
14	16	133			133	13.00	154.00		
15	15	118			118	13.25	156.00		
16	14	104			104	13.33	156.67		
17	13	91			91	13.30	156.40		
18	16	75			75	13.55	158.36		
19	19	206		150	56	14.00	162.00		
20	17	189			189	17.00	186.00		150
21	18	171			171	17.50	190.00	150	
22	18	153	150		153	17.67	191.33		
23	16	137			137	17.25	188.00		
24	15	122			122	16.80	184.40		
25	14	108			108	16.33	180.67		
26	14	94			94	16.00	178.00		
27	15	79			79	15.88	177.00		
28	14	65			215	14.00	162.00		150
29	13	202		150	202	14.00	162.00		
30	13	189			189	13.67	159.33		

2^{ème} Mois :

Ordre des jours	Consommation (C _i)	Méthode classique			Nouvelle approche				
		Etat du stock	Ordre de lancement	Réception	Etat du stock	(C _{moy}) _i	PC _i	Ordre de lancement	Réception
		189			189				
1	16	173			173	13.50	158.00		
2	16	157	150		157	14.00	162.00	150	
3	15	142			142	14.33	164.67		
4	15	127			127	14.43	165.43		
5	14	113			113	14.50	166.00		
6	13	100			100	14.44	165.56		
7	9	91			91	14.30	164.40		
8	9	82			82	13.82	160.55		
9	8	224		150	224	9.00	122.00		150
10	8	216			216	8.50	118.00		
11	6	210			210	8.33	116.67		
12	10	200			200	7.75	112.00		
13	12	188			188	8.20	115.60		
14	12	176			176	8.83	120.67		
15	9	167	150		167	9.29	124.29		
16	10	157			157	9.25	124.00		
17	9	148			148	9.33	124.67		
18	10	138			138	9.30	124.40		
19	8	130			130	9.36	124.91		
20	7	123			123	9.25	124.00	150	
21	10	113			113	9.08	122.62		
22	11	252		150	102	9.14	123.14		
23	13	239			89	9.27	124.13		
24	12	227			77	9.50	126.00		
25	12	215			65	9.65	127.18		
26	13	202			52	9.78	128.22		
27	12	190			190	13.00	154.00		150
28	10	180			180	12.50	150.00		
29	10	170	150		170	11.67	143.33		
30	11	159			159	11.25	140.00		

Tableau .IV-2. Evolution du stock durant le 2^{ème} mois selon l'approche classique et l'approche proposé

3^{ème} Mois :

Ordre des jours	Consommation (Ci)	Méthode classique			Nouvelle approche				
		Etat du stock	Ordre de lancement	Réception	Etat du stock	(C _{moy}) _i	PC _i	Ordre de lancement	Réception
		159			159				
1	10	149			149	11.20	139.60		
2	9	140			140	11.00	138.00		
3	12	128			128	10.71	135.71	150	
4	14	114			114	10.88	137.00		
5	13	101			101	11.22	139.78		
6	16	235		150	85	11.40	141.20		
7	17	218			68	11.82	144.55		
8	15	203			53	12.25	148.00		
9	15	188			38	12.46	149.69		
10	12	176			176	15.00	170.00		150
11	11	165	150		165	13.50	158.00		
12	13	152			152	12.67	151.33		
13	17	135			135	12.75	152.00	150	
14	13	122			122	13.60	158.80		
15	14	108			108	13.50	158.00		
16	14	94			94	13.57	158.57		
17	15	79			79	13.63	159.00		
18	11	218		150	68	13.78	160.22		
19	10	208			58	13.50	158.00		
20	12	196			196	10.00	130.00		150
21	13	183			183	11.00	138.00		
22	10	173			173	11.67	143.33		
23	12	161	150		161	11.25	140.00		
24	10	151			151	11.40	141.20		
25	10	141			141	11.17	139.33		
26	13	128			128	11.00	138.00	150	
27	12	116			116	11.25	140.00		
28	13	103			103	11.33	140.67		
29	11	92			92	11.50	142.00		
30	12	230		150	80	11.45	141.64		

Tableau .IV-3. Evolution du stock durant le 3^{ème} mois selon l'approche classique et l'approche proposé

Les résultats précédents sont interprétés dans la figure (IV-1).

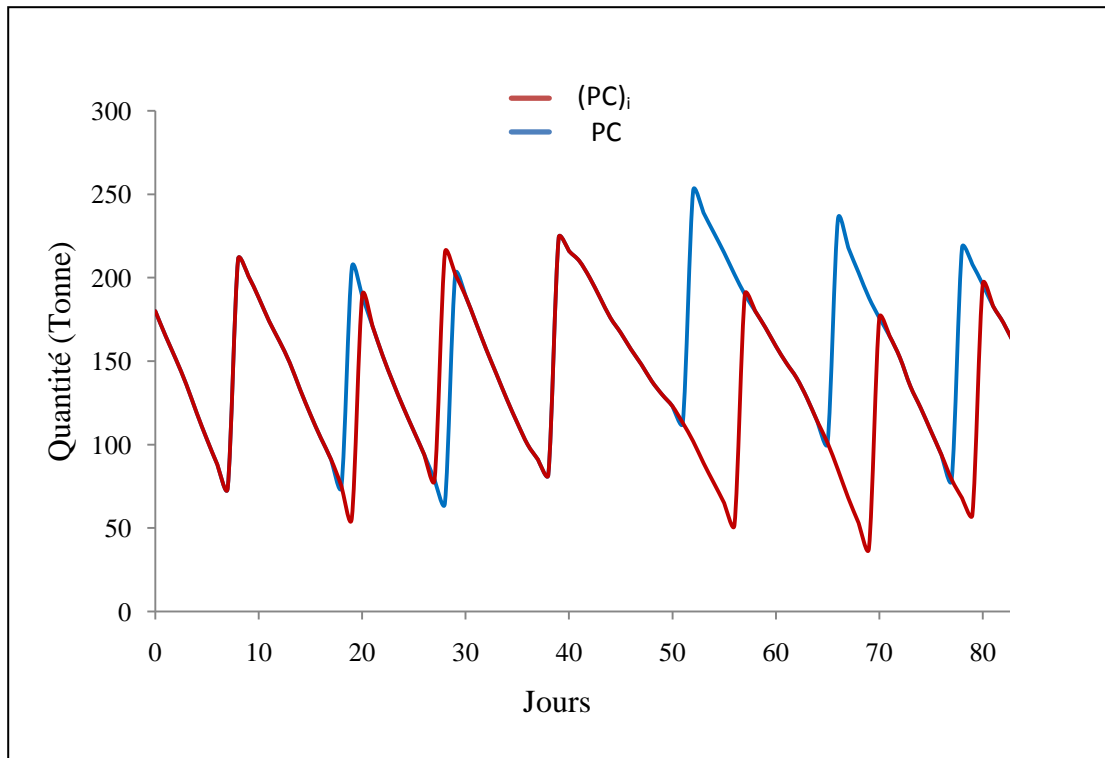


Fig.IV-1. Evolution du stock par les deux méthodes de réapprovisionnement durant les trois mois

IV.2.2. Discussions :

On constate que le graphe présente trois cas différents :

1- Cas où les deux courbes sont superposées : cela est apparent dans deux périodes :

- La période de 1 à 18 jours : où la consommation moyenne désignée (théorique) est presque égale à la consommation moyenne réelle, ce qui résulte des ordres de lancement dans les mêmes jours par les deux méthodes. Les jours (1, 12) pour la méthode classique, et (1, 13) pour la nouvelle approche.
- La période de 29 à 51 jours : cette superposition est due à la consommation moyenne réelle au premier temps qui tend vers celle désignée, et à la coïncidence de la réception dans le 39^{ème} jour.

Dans ces deux périodes, on peut dire que le système de production est en état de fonctionnement régulier.

2- Cas où il existe un petit décalage entre les deux courbes : ceci provient de l'écart entre les réceptions précédentes et n'a aucune conséquence négative. Il apparaît dans l'intervalle de 19 à 28 jours, et le système de production est en état de fonctionnement régulier.

3. Cas où les deux courbes sont éloignées au sommets (de 52 à 90 jours) : dans cette période la consommation moyenne réelle est inférieure à celle signalée, c'est pour cela on constate qu'il y a un surplus de bobines en stock lors de chaque réception par la méthode PC, en contre partie ce surplus est disparu dès l'application de la nouvelle approche (PC)_i, à cause de son adaptation à la variation du rythme de production et l'irrégularité du système productif.

IV.3. Application 02: La méthode d'approvisionnement de rechargement périodique

Afin de confirmer l'effet positif de la méthode proposée (basé sur la consommation dynamique instantanée), nous avons appliqué son processus sur une institution industrielle qui suit la méthode d'approvisionnement de rechargement périodique pour gérer son stock de matière première.

Cette entreprise est nommée (SARL DELIBA) spécialisée en fabrication des tuyaux en PVC au niveau du wilaya d'Eloued, soumise à des contraintes internes et autres externes qui empêchent le bon fonctionnement du système de production, ce qui a un effet rétroactif sur son stock de matières premières de base (polychlorure de vinyle), où on a constaté qu'il y a un dépassement de niveau de rechargement, presque en chaque réception de commande, l'ordre d'approvisionnement se fait périodiquement chaque début de mois, et la réception après 15 jours, avec un niveau de rechargement de 200 tonnes comme une quantité économique.

Pour résoudre ce problème et prouver l'efficacité de notre idée, on a suivi l'évolution du stock de matière première (polychlorure de vinyle) durant 100 jours successifs selon la méthode de rechargement périodique suivie par l'entreprise, et parallèlement, selon la méthode proposée ci-dessus. On a concrétisé l'évolution du stock provenant de chaque méthode par deux courbes distinctes illustrées dans la figure (IV-2)

Pour la méthode de réapprovisionnement de reemplètement classique, le calcul se fait suivant l'équation (1):

$$(Q_r)_i = [Q_e - (Q_d)_i] + (C_{moy}) \times LT_{moy} + SS$$

En sachant que :

Q_e : Niveau de reemplètement (Quantité économique)= 200 tonne

$C_{moy} = 6.5$ tonne/jour

$SS = 50$ tonne

$LT_{moy} = 15$ jours;

Et pour l'approche proposée: le calcul se fait selon l'équation (2):

$$(Q_r)_i = [Q_e - (Q_d)_i] + (C_{moy})_i \times LT_{moy} + SS$$

Avec:

$(C_{moy})_i$: moyenne dynamique instantanée à (t_i) , calculée à partir de la consommation de dernière réception jusqu'à l'instant (t_i)

IV.3.1. RESULTATS

Ordre des jours	Consommation (Ci)	Méthode classique			Nouvelle approche			
		Etat du stock	Ordre de lancement	Réception	Etat du stock	$(C_{moy})_i$	Ordre de lancement	Réception
		202			202			
1	0	202			202.00			
2	6.5	195.5			195.50			
3	6	189.5			189.50			
4	5	184.5			184.50			
5	6	178.5			178.50			
6	4	174.5			174.50			
7	3	171.5			171.50			
8	0	171.5			171.50			
9	0	171.5			171.50			
10	6	165.5			165.50			
11	7	158.5			158.50			
12	6	152.5			152.50			
13	7	145.5			145.50			
14	6.5	139			139.00			
15	0	139	158.5		139.00	4.5	128.5	
16	6	133			133.00			
17	5	128			128.00			
18	5	123			123.00			
19	5	118			118.00			
20	4	114			114.00			
21	0	114			114.00			
22	0	114			114.00			
23	4	110			110.00			
24	5	105			105.00			
25	6	99			99.00			
26	6.5	92.5			92.50			
27	6.5	86			86.00			
28	7	79			79.00			
29	0	79			79.00			
30	6.5	231		158.5	201.00			128.5
31	6	225			195.00			
32	6	219			189.00			

Conclusion générale

33	5	214			184.00			
34	5	209			179.00			
35	5	204			174.00			
36	0	204			174.00			
37	6	198			168.00			
38	6.5	191.5			161.50			
39	6.5	185			155.00			
40	6	179			149.00			
41	7	172			142.00			
42	4	168			138.00			
43	0	168			138.00			
44	5	163			133.00			
45	6.5	156.5	141		126.50	4.85	146.36	
46	7	149.5			119.50			
47	6.5	143			113.00			
48	6.5	136.5			106.50			
49	4	132.5			102.50			
50	0	132.5			102.50			
51	5	127.5			97.50			
52	6.5	121			91.00			
53	5	116			86.00			
54	5	111			81.00			
55	5	106			76.00			
56	0	106			76.00			
57	0	106			76.00			
58	6.5	99.5			69.50			
59	6.5	93			63.00			
60	6	228		141	203.36			146.36
61	6.5	221.50			196.86			
62	5	216.50			191.86			
63	3	213.50			188.86			
64	0	213.50			188.86			
65	4	209.50			184.86			
66	6	203.50			178.86			
67	6.5	197.00			172.36			
68	7	190.00			165.36			
69	6	184.00			159.36			
70	0	184.00			159.36			
71	6.5	177.50			152.86			
72	6	171.50			146.86			
73	5	166.50			141.86			

74	5	161.50			136.86			
75	2	159.50			134.86			
76	5	154.50	143		129.86	4.5667	138.64	
77	0	154.50			129.86			
78	6	148.50			123.86			
79	6.5	142.00			117.36			
80	6.5	135.50			110.86			
81	6	129.50			104.86			
82	5	124.50			99.86			
83	6.5	118.00			93.36			
84	0	118.00			93.36			
85	6.5	111.50			86.86			
86	6	105.50			80.86			
87	6	99.50			74.86			
88	6.5	93.00			68.36			
89	7	86.00			61.36			
90	6.5	79.50		143	54.86			138.64
91	0	222.50			193.50			
92	6.5	216.00			187.00			
93	6	210.00			181.00			
94	4	206.00			177.00			
95	5	201.00			172.00			
96	5.5	195.50			166.50			
97	6	189.50			160.50			
98	0	189.50			160.50			
99	6	183.50			154.50			
100	7	176.50			147.50			

Tableau IV-4. Evolution du stock durant 100 jours par l'approche de reemplètement classique et l'approche proposée

Ces résultats sont interprétés dans la figure (IV-2).

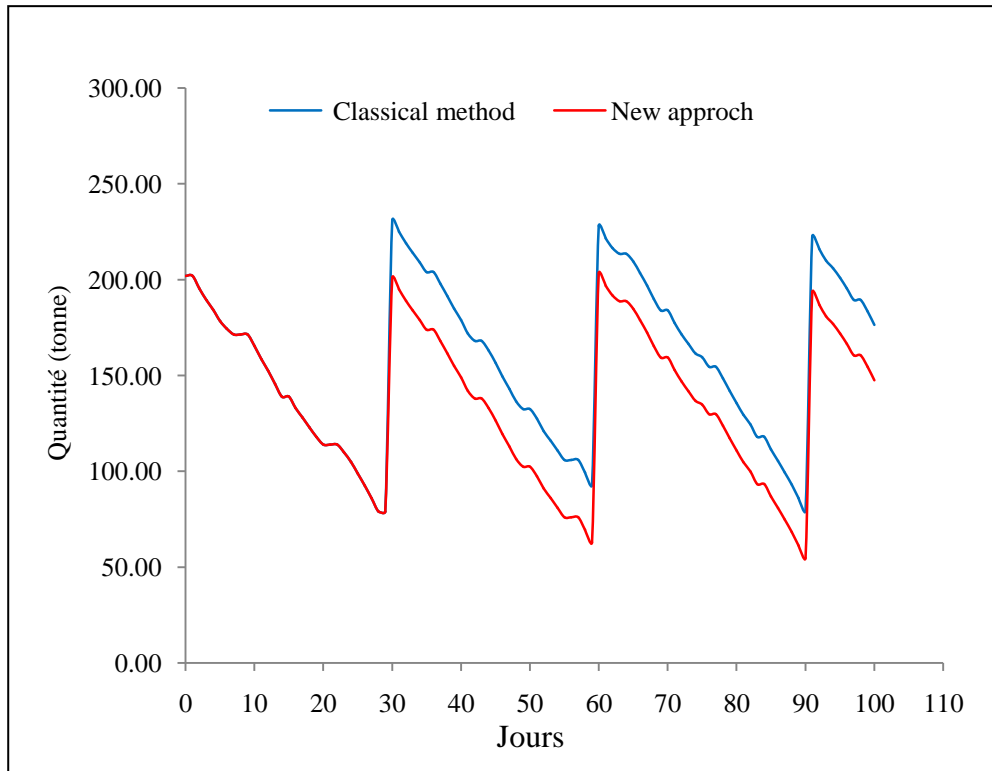


Fig.IV-2. Evolution du stock selon la méthode utilisée et l'approche proposée

IV.3.2. Discussion

On constate que le graphe présente deux cas différents :

3.2.1. Cas où les deux courbes sont superposées : cela est apparent uniquement dans la première période jusqu' à la réception de commande, car l'effet de l'approche proposée apparaît après la réception de la commande.

3.2.2. Cas où il existe un décalage entre les deux courbes provenant de l'écart entre la quantité demandée pour chaque méthode, où on remarque deux dispositions :

- L'existence des quantités en surplus au dessus de la quantité économique ($Q_e=200$) dans la courbe représentant la méthode de reapprovisionnement suivie par l'entreprise pendant chaque réception de commandes, en contre partie ces surplus sont disparus de la courbe représentant l'approche proposée.
- L'existence des quantités importantes immobilisées au dessus du stock de sécurité dans la courbe représentant la méthode classique, cependant on a une diminution notable représentée par l'approche proposée.

IV.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus dans les deux cas d'application, on peut dire que notre modèle proposé a un effet important sur les deux systèmes de production soumis à des contraintes provoquant des irrégularités au niveau de la production, en conséquence une désynchronisation entre le flux d'entrée et celui de sortie au niveau du stock d'approvisionnement. Le modèle proposé a une spécificité de flexibilité et d'adaptation avec les différentes fluctuations du système de production, à cause de la variation dynamique du point de commande qui est en fonction de la moyenne dynamique instantanée de la consommation pour la méthode de point de commande (Application 01), et la flexibilité de la quantité de rechargement pour la méthode de rechargement périodique (Application 02).

- Dans la première application, on a l'existence de quantités supérieures à 220 tonnes (PC +SS), ainsi des quantités au niveau de 100 tonnes immobilisées le long de la durée d'irrégularité. En contre partie, ce surplus a disparu dès l'application de notre modèle proposé et le niveau du stock immobilisé a diminué jusqu'au niveau du stock de sécurité.

- Dans la deuxième application, on a des quantités en surplus qui atteignent 230 tonnes, tandis que le niveau de rechargement est 200 tonnes. Mais après l'application du modèle proposé, les quantités en surplus ont disparu.



Conclusion générale

Les différents systèmes de production soumis à des contraintes internes et autres externes, provoquent parfois des fluctuations aux rythmes de production. Ces irrégularités de fonctionnement causent un désordre dans les différents services de production, en particulier dans la chaîne logistique, où ils créent une désynchronisation entre le flux d'entrée et le flux de sortie dans le stock. Afin de régulariser cette situation, les différents systèmes de production suivent les méthodes de réapprovisionnement à suivi continu telle que la méthode d'approvisionnement de point de commande et la méthode de reapprovisionnement périodique.

(Quand il s'agit d'une variation importante ou répétitive, ces systèmes de production subissent des ruptures des stocks, en conséquence arrêt de production en cas d'augmentation du rythme de production, des quantités en surplus et en conséquence un capital important immobilisé en cas de baissment du rythme de production.)

Notre recherche prend les différentes variations en considération, nous avons proposé deux approches capables de régulariser cette situation à cause de leur flexibilité et adaptation qui sont basées sur la moyenne instantanée dynamique pour la première et sur la variation instantanée du délai de livraison pour la deuxième.

Les modèles proposés ont été validés par deux applications expérimentales comparatives entre la méthode d'approvisionnement à point de commande et la méthode de reapprovisionnement périodique classiques d'une part, et l'approvisionnement par l'approche proposée d'autre part.

Nous avons obtenus une absence totale des quantités en surplus et la disparition des ruptures de stock malgré la fluctuation des systèmes de production dans les deux cas.

Résumé

Le succès d'une entreprise manufacturière est déterminé, entre autres, par sa capacité de proposer le bon produit au bon endroit, au bon moment, et avec un bon prix. Pour ce faire, le système de production s'appuie sur la chaîne logistique, parce qu'elle est considérée comme le facteur ayant le plus grand impact sur sa performance, et en conséquence sur le coût de produit.

L'optimisation de la chaîne logistique a pour but d'assurer l'alimentation du système de production sans rupture avec un minimum de stock. A cet effet, il existe plusieurs méthodes de réapprovisionnement classiques et autres actualisées. On constate que la plupart des systèmes de production suivent les méthodes de réapprovisionnement « à suivi continu » à cause de leurs propriétés économiques et ses flexibilités. Cependant, différentes contraintes influent sur les systèmes de production provoquant - de temps à autre - une désynchronisation entre le niveau du stock et les besoins effectifs de ces systèmes, induisant des ruptures en cas d'augmentation de la cadence de production, et des quantités en surplus en cas de baisse du rythme de production.

Ce travail consiste à donner deux nouvelles approches pour éviter les ruptures de stock et en conséquence l'indisponibilité des systèmes de production fluctuants, ainsi mettre fin à l'existence de quantités supérieures à celles économiques, à partir d'un suivi continu assisté par l'outil informatique basé sur la consommation dynamique instantanée; et le délai de livraison dynamique.

Ce qui conduit à considérer le point de commande $(PC)_i$ ainsi la quantité de remplètement $(Q_r)_i$ comme des variables dynamiques dépendantes du rythme de consommation instantanée $(C_{moy})_i$ et $(LT_{moy})_i$ pendant la période comprise entre $(t_r)_{i-1}$ et (t_i) .

Mots clés : *Chaîne logistique ; Point de commande; remplètement périodique; Quantité économique; Gestion de stock; Quantité surplus; Rupture de stock.*

Abstract:

The success of a manufacturing company is determined, in addition to things, by its ability to offer the right product in the right place, at the perfect time, and at a reasonable cost. To do this, the production system relies on the supply chain, because it is considered the factor that has the greatest impact on its performance, and consequently on the product cost.

The supply chain optimization aims to guarantee the production system supply without breaking with a minimum of stock. For this reason, there are several methods of replenishment conventional and other updated. The greater part of the diverse production systems follows "continuous monitoring" replenishment methods as a result of their economic properties and flexibility. However, different constraints affect the production systems causing from time to time a desynchronization between the stock level and the actual needs of these systems, leading to breaks in the event of an increase in the production, and surplus quantities in case of the production rate decrease.

This work consists in giving two new approaches to avoid the stock-outs of fluctuating production systems, subsequently, the existence of quantities greater than economic ones, starting from a continuous monitoring assisted by the computer tool based on instantaneous dynamic consumption, so the dynamic delivery time.

This leads to considering the control point $(PC)_i$ and the replenishment quantity $(Q_r)_i$ as a dynamic variable dependent on the instantaneous consumption rate $(C_{moy})_i$ and $(LT_{moy})_i$ during the period between $(t_r)_{i-1}$ and (t_i) .

Keywords: *Logistics chain; Command Point; periodic replenishment; Economic quantity; Inventory management; Quantity surplus; Stock-out.*

المخلص:

يحدد نجاح أي مؤسسة إنتاجية عن غيرها، من خلال قدرتها على تقديم المنتج المناسب في المكان المناسب، في الوقت المناسب، وبسعر تنافسي. لتحقيق ذلك، يعتمد نظام الإنتاج على سلسلة التوريد لأنها تعتبر العامل الأكثر تأثيراً على أدائه، وبالتالي على تكلفة المنتج.

يهدف تحسين خدمات سلسلة اللوجستية إلى ضمان تزويد نظام الإنتاج دون انقطاع المخزون بأقل كمية ممكنة. لهذا، نجد طرقاً مختلفة لتزويد المخزون، منها كلاسيكية و أخرى مستحدثة.

نلاحظ أن أغلب أنظمة الإنتاج تتبع الطرق اللوجستية التي تعتمد على المراقبة المستمرة، و هذا لمرونتها و خصائصها الاقتصادية، لكن هناك مؤثرات على أنظمة الإنتاج من حين إلى آخر، تخلق عدم توافق و توازن بين مستوى المخزون و بين الاحتياجات الحقيقية لهذه الأنظمة، مما يؤدي إلى تراكم كميات تفوق الكمية الاقتصادية في المخزون في حالة انخفاض معدل إيقاع الإنتاج، و إلى انقطاعه في حالة ارتفاع معدل الإيقاع.

هذا البحث يعطي مقاربتين جديدتين لتجنب انقطاع المخزون الذي يؤدي إلى توقف الإنتاج من جهة، و كذا عدم تشكيل كميات زائدة عن تلك المسماة اقتصادية من جهة أخرى، و هذا من خلال المراقبة المستمرة لمختلف التغيرات الاستهلاكية اللحظية، و كذا مدة استلام طلبات التموين، باعتبار نقطة الطلب $(PC)_i$ و كذا مستوى التجديد $(Q_r)_i$ متغيرات ديناميكية تركز على معدل إيقاع الاستهلاك اللحظي $(C_{moy})_i$ و معدل مدة الاستلام المتغير $(LT_{moy})_i$ خلال المرحلة ما بين $(t_r)_{i-1}$ و (t_i) .

الكلمات المفتاحية: السلسلة اللوجستية، نقطة الطلب، التجديد الدوري، الكمية الاقتصادية، تسيير المخزون، الكمية الزائدة، انقطاع المخزون.



Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1]. Giard, V. (2003). *Gestion de la production et des flux*. Paris: Economica. 3ème édition.
- [2]. Cheaitou, A., van Delft, C., Dallery, Y., & Jemai, Z. (2009). Two-period production planning and inventory control. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 118-130.
- [3]. Thomas, Douglas J. et Griffin, Paul M, (1996), « Coordinated supply chain management », *European journal of operational research*, vol. 94, no 1, pp. 1-15.
- [4]. P.Gaspart. Gestion des stocks et de la production, Cours GEST 075. Université libre de Bruxelles, 2006.
- [5]. Georges, J. A. V. E. L. (2010). Organisation et gestion de la production. *Paris, 2ème édition Danod*.
- [6]. Courtois, A., Martin-Bonnefous, C., Pillet, M., & Pillet, M. (2003). *Gestion de production*. Les Ed. d'Organisation.
- [7]. Dautère-Pères S., *Planification et ordonnancement de la production: une approche intégrée cohérente*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, France, 1992.
- [8]. Swamidass, P. M. and Newell, W. T. (1987). Manufacturing strategy, environmental uncertainty and performance: a path analytic model. *Management science*, 33(4), pp. 509-524.
- [9]. Babai, M. Z, Syntetos, A.A., Dallery, Y. & Nikolopoulos, K. ,(2009). "Dynamic re-order point inventory control with lead-time uncertainty: analysis and empirical investigation". *International Journal of Production Research* 47 (9), 2461-2483
- [10]. Boukherroub, Tasseda (2013). Intégration des objectifs du développement durable dans la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique. (*Thèse de doctorat, INSA de Lyon*).
- [11]. Fontanili, F. (1999). Intégration d'outils de simulation et d'optimisation pour le pilotage d'une ligne d'assemblage multiproduit à transfert asynchrone (*Thèse de Doctorat, Université Paris 13*).
- [12]. Dallery Y. and Véricourt F. D. (1999). Pilotage de Systèmes de Production à Flux Tiré. *Logistique & Management*, 7 (1), pp. 57-66.
- [13]. Arda, Y. (2008). Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées (*Thèse de doctorat, INSA de Toulouse*).
- [14]. Boonlertvanich, K. (2005). "Extended-CONWIP-Kanban system: control and performance analysis." (*Thèse de doctorat, Georgia Institute of Technology*).
- [15]. Colledani, M., and Tolio, T. (2012). Integrated quality, production logistics and maintenance analysis of multi-stage asynchronous manufacturing systems with degrading machines. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(1), pp. 455-458.
- [16]. Allaoui, H., Artiba, A., Goncalves, G., & Elmaghraby, S. E. (2008). Scheduling n jobs and preventive maintenance in a single machine subject to breakdowns to minimize the expected total earliness and tardiness costs. *IFAC Proceedings Volumes*, 41(2), pp.15843-15848.

- [17]. Monchy, F., and Vernier, J. P. (2012). *Maintenance-3e éd.: Méthodes et organisations pour une meilleure productivité*. Dunod, Paris, pp.31-58.
- [18]. Restrepo, L. M. R. (2016). *Optimisation basée sur l'étude des trajectoires dans un environnement aléatoire: application au pilotage de systèmes de production* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [19]. Barlow, R., and Hunter, L. (1960). Optimum preventive maintenance policies. *Operations research*, 8(1), pp. 90-100.
- [20]. Pham, H. (2003). *Recent studies in software reliability engineering*. Springer, London, pp.285-302.
- [21]. Do, P., Voisin, A., Levrat, E., and Iung, B. (2015). A proactive condition-based maintenance strategy with both perfect and imperfect maintenance actions. *Reliability Engineering & System Safety*, 133, pp. 22-32.
- [22]. Salameh, M. K., and Ghattas, R. E. (2001). Optimal just-in-time buffer inventory for regular preventive maintenance. *International Journal of Production Economics*, 74(1), pp.157-161.
- [23]. Tan, B. (1998). An analytical formula for variance of output from a series-parallel production system with no interstation buffers and time-dependent failures. *Mathematical and computer modelling*, 27(6), pp. 95-112
- [24]. Xie, X. (1989). Contrôle hiérarchique d'un système de production soumis à perturbations (*Thèse de Doctorat, Nancy 1*).
- [25]. Vallin, P. (1999). *La logistique: modèles et méthodes du pilotage des flux*. *Economica*, vol.141. pp. 3-5.
- [26]. Dallery, Y. (2000). Notes de cours de logistique industrielle. *Ecole Centrale Paris*.
- [27]. YVES CRAMA. Eléments de gestion de la production, Ecole d'Administration des Affaires, Université de Liège, Notes de cours année académique 2002-2003.
- [28]. Baglin, T., Luddington, R., Brown, K., & Baglin, C. (2003). Incidence of recurrent venous thromboembolism in relation to clinical and thrombophilic risk factors: prospective cohort study. *The Lancet*, 362(9383), 523-526.
- [29]. Hubert, T. (2013). "Prévision de la demande et pilotage des flux en approvisionnement lointain." Thèse de doctorat dirigée par Chu, Chengbin Génie industriel Ecole centrale Paris 2013.
- [30]. Giard et Sali (2012) Giard, V. et Sali, M. (2012). L'effet coup de fouet dans la chaîne logistique: une littérature contingente et incomplète, *Revue Française de Gestion Industrielle*, n° 2, vol. 31, 2012, p. 24-42
- [31]. Huang, G.Q., Lau, J.S.K. et Mak, K.L. (2003) "The impact of sharing production information on supply chain dynamics : a review of the literature", *International Journal on Production Research*, Vol. 41, n° 7, pp. 1483-1517.
- [32]. Brown, R. G.(1959). *Statistical Forecasting for Inventory Control*, McGraw-Hill, New York.
- [33]. Oussama Ben Ammar (2013). Planification des réapprovisionnements sous incertitudes pour les systèmes d'assemblage à plusieurs niveaux, « *Quatorzième congrès annuel de la Société Française de recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2013)* », Feb 2013, Troyes, France. pp.Session 26 : Lot sizing, 2013

- [34]. Nicolas Houy et Thomas Houy, « Outils de prévision de la demande (OPD) et pratiques de réduction des stocks », *Revue d'économie industrielle*, 139 | 2012, 27-47.
- [35]. Laurent Buzon, Yacine Ouzrout, Abdelaziz Bouras (2008). « Modélisation de l'organisation de l'échange de connaissances au sein des relations inter-entreprises: Application à la chaîne logistique du mobilier », *Revue Française de Gestion Industrielle*, 27 (1), pp.10-26.
- [36]. Dub, M., Pipan, G., and Hanzálek, Z. (2002). Stock optimization of a kanban-based assembly line. In *Proc. of the 12th int. conf. on flexible automation and intelligent manufacturing, Dresden, Germany*, pp. 1-10.
- [37]. Lee, H. L., Padmanabhan, P. and Whang S (1997). "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect", *Management Science*, vol. 43, pp. 546-558, 1997.
- [38]. Graves, SC (1999). Modèle d'inventaire à article unique pour un processus de demande non stationnaire. *Manufacturing & Service Operations Management*, 1 (1), 50-61.
- [39]. Lambert, D. M., J. R. Stock, et al. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Burr Ridge, Illinois.
- [40]. Sgren Glud, J. and T. Anders (1998). "An inventory model with Poisson demands and emergency orders", *Int. J. Production Economics* 56-57 275-289.
- [41]. Sven, A. (2007). "A heuristic for triggering emergency orders in an inventory system", *European Journal of Operational Research : Production, Manufacturing and Logistics* 176: 880-891.
- [42]. Springer, M. et Kim, I. (2010). « Managing the order pipeline to reduce supply chain volatility », *European Journal of Operational Research*, n° 203, pp.380–392.
- [43]. Childerhouse, P., Disney, S.M. et Towill, D.R. (2008). "On the impact of order volatility in the European automotive sector", *International Journal of Production Economics*, n° 114, pp. 2-13.
- [44]. Croson, R. et Donohue, K. (2005). "Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect", *System Dynamics Review*, Vol. 21, n° 3, pp. 249-260.
- [45]. Nahmias, S. et Cheng, Y. (2009). *Analyse de la production et des opérations* (vol.6). New York: McGraw-Hill.
- [46]. Lee, H. L., So, K. C. and Tang, C. S. The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain, *Management Science*, vol. 46, pp. 626-643, 2000.
- [47]. Rachid Benmoussa, Ridha Derrouiche, Abdelaziz Bouras, Gilles Neubert (2009). Méthode pratique pour le déploiement de l'approche processus au sein d'une chaîne logistique », *Revue Française de Gestion Industrielle (RFGI)*, 28 (3), 29-53
- [48]. Giri, B. C. and T. Dohi (2009). "Cost-effective ordering policies for inventory systems with emergency order", *computers & Industrial Engineering* 57: 1336-1341.
- [49]. Selda, T. and J. L. J. Emmett (2010). "Inventory decisions for emergency supplies based on hurricane count predictions." *Int. J. Production Economics* 126: 66–75.