

# POLYCOPIE DU COURS

## GESTION DE PRODUCTION

LATIFA OUZIZI

Année Universitaire : 2022-2023

## Table des matières

<b>1 CHAPITRE 1 : INTRODUCTION A LA GESTION PRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction : Qu'est-ce que la Gestion de Production ? .....	4
1.2 Pourquoi la GP est-elle si difficile ? .....	4
1.2.1 Incertitude des informations .....	4
1.2.2 Interconnexion des services .....	5
1.2.3 Antagonisme des critères .....	5
1.2.4 Multiplicité des systèmes de production et leur mode de fonctionnement .....	6
1.2.5 Complexité des calculs pour obtenir des solutions .....	6
1.3 Gestion de production hiérarchisée .....	6
1.4 Architecture d'un système de planification de la production .....	7
1.4.1 Le plan de production .....	8
1.4.2 Le programme directeur de production .....	8
1.4.3 Le plan de besoins en matières .....	8
1.4.4 Le programme d'atelier .....	9
<b>2 CHAPITRE 2 : LA GESTION DES STOCKS .....</b>	<b>10</b>
2.1 La formule de Wilson et la notion de quantité économique .....	10
2.1.1 Réapprovisionnements continu .....	13
2.1.2 Groupage de produits .....	13
2.2 La tenue et l'analyse du stock .....	14
2.2.1 La tenue du stock .....	14
2.2.2 L'analyse du stock .....	15
2.3 Les méthodes d'approvisionnement .....	16
2.3.1 Méthode du point de commande (quantité fixe, périodicité variable) .....	16
2.3.2 Méthode du réapprovisionnement périodique (périodicité fixe, quantité variable) .....	17
2.4 Avantages et inconvénients des différentes méthodes .....	18
2.5 Calcul du stock de sécurité .....	18
2.5.1 Taux de service .....	19
2.5.2 Calcul du stock de sécurité .....	19

<b>3 CHAPITRE 3 .....</b>	<b>22</b>
<b>LA GESTION DES DONNEES TECHNIQUES .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Les données techniques .....</b>	<b>22</b>
3.1.1 Les articles.....	22
3.1.2 Les nomenclatures.....	23
3.1.3 Les ressources.....	23
3.1.4 Les gammes.....	24
<b>3.2 Gestion des données techniques.....</b>	<b>24</b>
<b>4 CHAPITRE 4 : LA PLANIFICATION DE LA PRODUCTION .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Planification globale des capacités.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Plan de production.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Programme directeur de production.....</b>	<b>28</b>
<b>4.5 La gestion des flux de production (Méthode MRP) .....</b>	<b>29</b>
4.5.1 Principe de la Méthode MRP.....	29
4.5.2 Description de la méthode MRP.....	30
4.5.3 MRP et extensions financières.....	34
<b>4.6 Etude de cas MRP2 : Exemple de synthèse .....</b>	<b>34</b>
4.6.1 Plan industriel et commercial .....	34
4.6.2 Charges globales au niveau du Plan de Production .....	35
4.6.3 Programme directeur de production .....	36
<b>4.6.4 Cohérence entre PP et PDP.....</b>	<b>36</b>
4.6.5 Charges globales au niveau des PDP.....	37
4.6.6 Calcul des besoins nets.....	38
4.6.7 Calcul des charges détaillées .....	38
<b>4.7 Liens entre Moyen et Court terme .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CHAPITRE 5 : ORDONNANCEMENT DE LA PRODUCTION .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 Caractéristiques de l'ordonnancement des ateliers :.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 Objectifs de gestion de l'atelier.....</b>	<b>42</b>
L.OUZIZI	2

<b>5.3 Les types d'ateliers.....</b>	<b>42</b>
<b>5.4 Les règles d'ordonnancement .....</b>	<b>42</b>
<b>5.5 Modélisation du problème d'ordonnancement .....</b>	<b>43</b>
5.5.1 Notations .....	43
<b>5.6 Problème d'ordonnancement à une machine .....</b>	<b>44</b>
5.6.1 Les hypothèses du problème de base à une machine.....	44
5.6.2 Les solutions du problème de base à une machine selon les critères : la règle TOM (SPT).....	45
5.6.3 Algorithme polynomial de Moore Hodgson.....	46
5.6.4 Les extensions étudiées du problème de base à une machine.....	46
5.6.5 Les solutions du problème de base à deux machines selon les critères .....	46
<b>5.7 Problème d'ordonnancement sur deux machines .....</b>	<b>46</b>
5.7.1 Algorithme de Johnson.....	47
5.7.1 Algorithme de Jackson. ....	47
<b>6 BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>48</b>

# **1 Chapitre 1 : Introduction à la Gestion Production**

## **1.1 Introduction : Qu'est-ce que la Gestion de Production ?**

Il s'agit de gérer un système de production et gérer signifie ici prendre à tout moment les décisions les plus adéquates. Les décisions de GP sont de trois catégories :

- Les décisions stratégiques à long terme sur les investissements en moyens matériels (machines, bâtiments,...), financiers et humains, c'est-à-dire les décisions concernant l'évolution du système de production et de la production elle-même (produits fabriqués).
- Les décisions tactiques prises à moyen terme sans modification sérieuse des capacités de production globales : essentiellement la planification de la charge prévisionnelle en fonction des moyens matérielles et humains et décisions concernant la gestion de stock.
- Les décisions opérationnelles : assurent la flexibilité au jour le jour face aux aléas (pannes, absentéisme...), on y contrôle la matière (stock), l'équipement (machines, outils, transport...) et la main d'œuvre.

Malheureusement, il est non difficile de prendre les décisions adéquates mais aussi de définir les décisions à prendre avec précision. Une des difficultés est d'étudier les phénomènes, de comprendre les problèmes, de découvrir les paramètres décisionnels, les décideurs, les solutions possibles et les critères d'appréciation de ces solutions.

## **1.2 Pourquoi la GP est-elle si difficile ?**

### *1.2.1 Incertitude des informations*

- Les machines peuvent tomber en panne
- Les ouvriers peuvent tomber malades ou en grève
- Retard d'arrivée de la matière première
- La matière première peut ne pas avoir la qualité requise
- Les pièces fabriquées peuvent être défectueuses....

### 1.2.2 Interconnexion des services

La GP intervient dans tous les services plus ou moins traditionnellement présents dans une entreprise, c'est :

- A la direction générale de définir le plan de production et de prendre toutes les décisions à long terme (investissements).
- Au bureau d'études de concevoir les nouveaux produits et leur impact possible sur les marchés
- Au bureau des méthodes de prévoir les gammes de fabrication des différents produits.
- Au service des ventes de promouvoir les produits, prévoir les commandes à venir pour chaque type de produit et de prendre les décisions pour faire évoluer ces demandes.
- Au service des achats ou des approvisionnements d'échelonner les arrivées en matières premières.
- Au service financier de surveiller les coûts,
- Au service ordonnancement de planifier la fabrication des différents ateliers
- Aux ateliers de produire.

Exemple : qui est responsable d'une rupture de stock d'un produit ? est-ce le service de ventes qui a sous-estimé les ventes ? Est-ce le magasin qui a trop sous stocké ? ou bien la fabrication qui a fait des retards ?...

### 1.2.3 Antagonisme des critères

Contrairement à ce que l'on a longtemps pratiqué dans les entreprises, il n'est pas possible de tout convertir en argent et de ramener tous les problèmes à des problèmes d'optimisation à un seul critère : la maximisation du bénéfice de l'entreprise. Exemple : si on ne livre pas dans les délais, on risque de perdre un client. Comment chiffrer cette perte ? Ou bien si on veut augmenter la production, on augmente les causes d'absentéisme (fatigue) d'où une diminution de la production. Ainsi, les principaux critères manipulés en GP sont :

- La minimisation des en cours (stocks)
- La minimisation des retards
- La maximisation des charges (utilisation des moyens) équivalentes à la minimisation des coûts de sous-traitance et des heures supplémentaires.

#### *1.2.4 Multiplicité des systèmes de production et leur mode de fonctionnement*

Il y a une grande variété de systèmes de production, citons quelques hypothèses de différenciation :

- Les systèmes à fabrication continue, discrète ou mixte.
- Production en grandes, petites ou petites séries ; ou à l'unité ou encore la fabrication de prototypes.

#### *1.2.5 Complexité des calculs pour obtenir des solutions*

### **1.3 Gestion de production hiérarchisée**

Du fait de la complexité et les difficultés déjà vu, il est impossible de traiter globalement l'ensemble des problèmes posés par la GP, aussi utilise-t-on une décomposition hiérarchique du système de décision.

Plus simplement, le système de décision comporte 4 niveaux :

- Niveau 1 : à partir des informations commerciales comprenant les commandes fermes, optionnelles et prévisionnelles, de la politique de la direction relative aux objectifs à atteindre et de la définition des données techniques et des ressources adaptés à ce niveau, on élabore le programme directeur de production.  
Le PDP permet de : prévoir les charges futures du système physique de production ; et de définir les approvisionnements.
- Niveau 2 : se situe le niveau calcul des besoins, il déclenche deux fonctions en parallèle : la gestion des matières premières (orientés vers l'acquisition des produits de l'extérieur de l'entreprise) et la planification des charges en interne.
- Niveau 3 : constitue le niveau opérationnel ou ordonnancement des tâches sur les machines.
- Niveau 4 : le niveau d'exécution du système de conduite de production.

## 1.4 Architecture d'un système de planification de la production

La planification recouvre l'ensemble des décisions prises au sein de l'entreprise, dans les domaines ; Commercial, financier, production. Elle concerne le long, le moyen et le court terme, comme dit l'adage ; On ne voit distinctement que ce qui est près et pour voir au loin, il faut s'élever. Il faut donc commencer par définir une politique et une stratégie pour l'entreprise et fixer les orientations générales pour les différents services et fonctions à long terme : planification du capital, construction d'une usine, innovation dans la conception des produits, amélioration des compétences du personnel ...etc. Pour élaborer une stratégie il faut prendre en considération l'évolution des marchés et les évolutions technologiques (produit et procédé).

La vision actuelle des problèmes de stratégie d'entreprise apparente l'établissement du plan de production a une décision d'ordre tactique, prise par la direction générale. En effet, les auteurs des principaux ouvrages dans le domaine, ainsi que les organismes œuvrant dans ce secteur tel que l'APICS (American Production and Inventory Control Society) [3], préconisent une architecture de planification de production, comportant quatre niveaux de décision (Figure 1.1). Ces niveaux portent sur des horizons progressivement plus restreints et présentent des éléments de planification de plus en plus détaillés.

Les décisions relatives à la capacité font partie de la gestion de production et sont d'ordre stratégique. En effet la capacité de production détermine l'investissement initial, elle est étroitement liée aux coûts d'exploitation (amortissements, frais généraux...etc.). Les décisions relatives à la capacité se rapportent à quatre questions :

- Le **combien** (la capacité requise) l'accroissement de la capacité se fait généralement par tranches (achat d'une machine construction d'une installation... etc.).
- Le **quand** (le moment d'ajout) pour ajouter la capacité, il y a trois options temporelles : option d'anticipation (avant la demande), option ponctuelle (exactement au moment de la demande), option réactive (lorsque la demande se manifeste). L'inconvénient de l'option réactive est le manque à gagner dû à des pertes de marché. L'option d'anticipation satisfait toute la demande, par contre elle engendre une surcapacité.
- Le **comment** (les formes de la capacité) investir dans une nouvelle installation n'est pas la seule forme de la capacité, nous pouvons prévoir une autre équipe de travail, améliorer les rendements, prévoir des heures supplémentaires ...etc.
- Le **OU** (localisation de la capacité) nous pouvons agrandir une usine, la fermer et bâtir une autre ailleurs, ajouter une autre usine ailleurs.



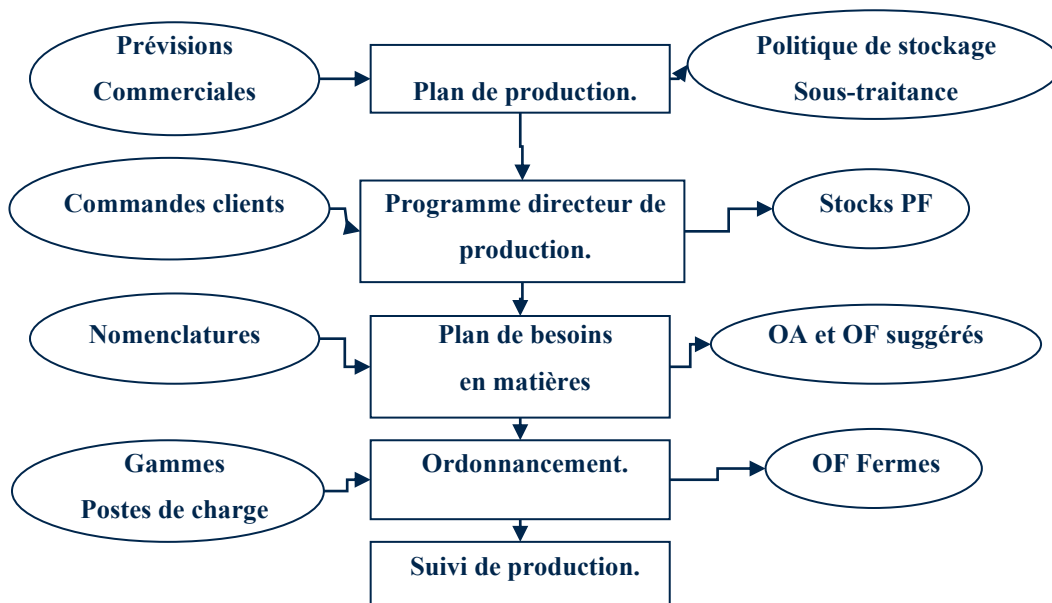
En ce qui concerne les autres niveaux de décision nous avons :

#### 1.4.1 Le plan de production

(en Anglais production plan), il consiste en la planification globale des capacités, c'est un programme prévisionnel à moyen terme (à un horizon le plus souvent compris entre 12 et 18 mois), il consistera à déterminer pour chaque famille de produits les quantités à produire en considérant l'état prévisionnel des stocks. Il est basé sur des prévisions de demande.

#### 1.4.2 Le programme directeur de production

En Anglais Master Schedule Plan, consiste en une planification détaillée de la production à moyen terme (1 à 3 mois) permettant de déterminer pour chaque article les quantités à produire. Nous représentons sur la figure 1.2 les différentes composantes de ce plan.



**Figure 1.1: architecture d'un système de planification de la production.**

#### 1.4.3 Le plan de besoins en matières

C'est un programme à moyen terme déterminant la date et la quantité de chaque matière première à commander et de chaque pièce ou composant à lancer en production, afin de pouvoir réaliser le programme directeur de production. Il n'est pas requis pour les entreprises dont le produit n'est pas complexe.

#### *1.4.4 Le programme d'atelier*

Il consiste en un ordonnancement de la production à court terme permettant de déterminer pour chaque poste de travail et pour chaque ouvrier l'opération qu'il doit réaliser, la date de lancement et les quantités à produire. Pour suivre l'évolution des travaux dans l'atelier, il faut disposer des informations sur l'état de l'activité des ateliers : travaux non commencés - travaux en cours - travaux achevés. Pour cela on utilise un dossier de fabrication (Bon de travaux - Bon de sortie matière - Fiche suiveuse... etc.). La plus part du temps le responsable de production ne peut pas réaliser tout ce qui a été planifié lors de la phase d'ordonnancement à cause des aléas de production (panne machine, avenant à une commande...etc.). Il doit effectuer des re-ordonnancements de la production pour pallier à ces aléas [4].

## 2 Chapitre 2 : La gestion des stocks

Les stocks peuvent être définis comme l'ensemble des produits (produits finis, semi-ouvrés, matières premières) présents dans l'entreprise entre le moment de leur acquisition ou de leur création et le moment de leur consommation ou de leur vente. Le rôle des stocks est d'assurer la déconnexion entre un phénomène amont et un phénomène aval. Un stock sera donc nécessaire chaque fois que deux phénomènes ne sont pas parfaitement synchronisés. On pourra distinguer :

- Les stocks amont à l'interface entre les fournisseurs et l'entreprise : matières premières et composants.
- Les stocks aval entre l'entreprise et ses clients : Produits finis.
- Les stocks intermédiaires: sous-ensembles ou semi-finis.
- Les stocks d'en cours: produits en cours de transformation entre les machines ou les ateliers
- Les stocks de rechange: sous-ensembles ou semi-finis destinés à la vente
- Les stocks d'entretien, destinés à la maintenance des moyens de production.

Dans ce chapitre nous n'allons pas traiter l'analyse Pareto car c'est un prérequis. Nous allons dans un premier temps définir les différents coûts de stockage. Ensuite, nous allons présenter les différentes méthodes d'optimisation de ces coûts et enfin nous allons décrire les différentes méthodes pratiques d'approvisionnement.

### 2.1 La formule de Wilson et la notion de quantité économique

Le stock a un coût, gérer un stock consiste à minimiser le coût de stockage. Ainsi, nous pouvons répartir les coûts de stock en deux types de coûts : les coûts de stockage proprement dite et les coûts de rupture [6]. Les coûts de stockage : à leur tour peuvent être scindé en trois types de coûts :

*1 Coût d'acquisition : coût unitaire x nombre d'articles.*

*2 Coût de possession: il englobe les coûts de détention (immobilisation financière) et les coûts de stockage (magasins, manutention, personnel, chauffage, éclairage, assurance, obsolescence...etc.)*

*3 Coût de commande : il considère les coûts de passation de commande (bon de commande, transport, réception, contrôle, facturation...etc.)*

Les coûts de rupture englobent la rupture externe et interne:

*1 Rupture externe : (vente manquée ou différée, pénalités de retard, coûts administratifs, image de marque...etc.)*

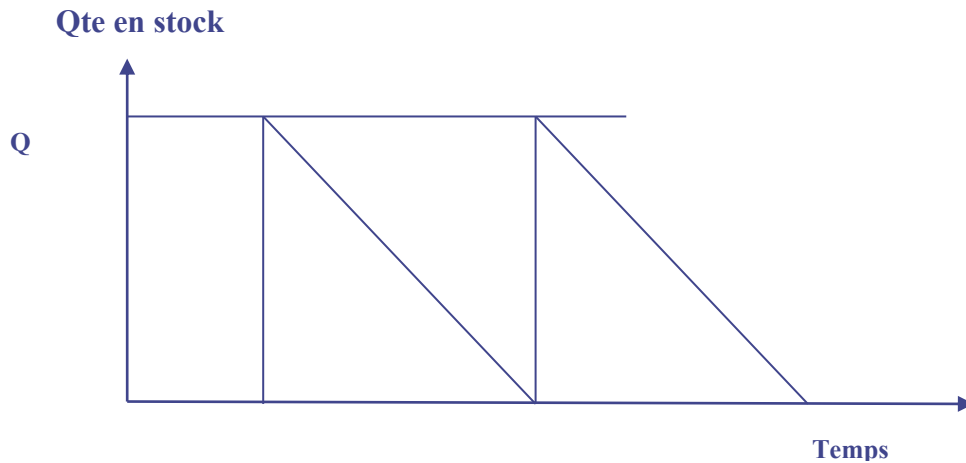
## 2 Rupture interne : (chômage technique, retards, inoccupation des machines, modification de planning...etc.)

Il faut donc réaliser, d'une part, un compromis entre les coûts de stockage et les coûts de rupture et d'autre part, un compromis entre les coûts de détention et les coûts de commande. En effet, la gestion des achats vise à satisfaire les objectifs de la fonction industrielle, elle doit donc satisfaire les besoins des demandeurs au sein de l'entreprise, selon un niveau Qualité et Quantité voulue, le tout le plus Economiquement possible. La gestion des stocks consiste donc, à assurer un approvisionnement sans pénurie tout en minimisant en permanence le coût des stocks. Il s'agit en fait de répondre à deux questions: Quand commander? Et Combien commander? La formule de Wilson vise à répondre à ces questions. Elle permet de déterminer la Quantité Economique d'approvisionnement, sous réserve des hypothèses simplificatrices:

- Consommation régulière,
- Demande indépendante de chaque article,
- Livraison instantanée et en une seule fois,
- Rupture de stock interdite,
- Prix d'achat fixe (indépendant de la quantité).

La Figure 2.1 présente l'allure des stocks en considérant les hypothèses du modèle de Wilson. Pour évaluer les coûts de stockage, nous utilisons, en général, les coûts standards fournis par le contrôle de gestion. Par suite, les données de notre problème sont:

- $C_a$  = Consommation annuelle
- $F$  = Coût de passation de commande (ou de lancement en fabrication)
- $P_u$  = Coût unitaire de l'article
- $t$  = taux annuel de possession (en % de la valeur en stock)
- $Q$  = Quantité commandée.



**Figure 2.1: formule de Wilson.**

Pour le calcul des coûts annuels de stockage, nous utilisons les données déjà définies et nous obtenons les formules suivantes :

- Coût d'acquisition =  $P_u * C_a$
- Coût de passation de commande =  $F * C_a/Q$
- Coûts de possession =  $Q/2 * P_u * t$
- Coût de rupture = 0 (hypothèse).

Le coût total de stockages est donc :

$$\text{Coût total } F(Q) = P_u C_a + F C_a/Q + Q/2 P_u t$$

Le coût d'acquisition étant indépendant de  $Q$ , la Quantité économique  $Q_e$  correspond donc au minimum de la courbe obtenue en ajoutant les coûts de passation de commande (ou coûts d'approvisionnement) aux coûts de possession (ou coûts de stockage). Pour calculer la quantité économique  $Q_e$  nous supposons que c'est la quantité qui nous permet d'avoir un coût minimal de stockage. Le coût est minimum quand la fonction dérivée du cout total par rapport à la quantité commandée est nulle :

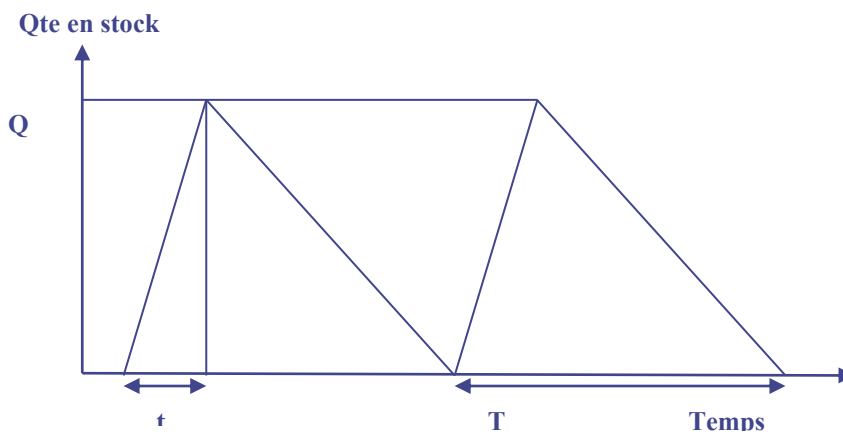
- $F'(Q) = 0$ , soit  $-F C_a/Q^2 + P_u t/2 = 0$ , soit  $Q_e = \sqrt{\frac{2 F C_a}{P_u t}}$

Cette Quantité économique  $Q_e$  doit généralement être transformée en quantité pratique  $Q_p$  (conditionnement de l'article, quantité minimum de livraison, etc...).

### 2.1.1 Réapprovisionnement continu

Dans le cas de la fabrication d'un article en interne, on travaille la plupart des temps par des campagnes de production. Le stock moyen n'est plus égal à  $Q/2$  ( $Q$  quantité lancée en production) mais à  $Q_m/2$  (quantité maximale présente en stock). A la fin du cycle de production, une partie du stock  $Q_c$  a déjà été consommée (**Figure 2.2**). En fonction du taux de production  $P_a$  (en nombre d'unités par an) de la machine utilisée, et de la consommation annuelle  $C_a$  de l'article, on a:  $Q_c = C_a t$  avec  $t$  le délai de production.

- $P_a t = Q$ , donc  $t = Q / P_a$ .
- Finalement :  $Q_m = Q - Q_c = Q (1 - C_a/P_a)$



**Figure 2.2 : le réapprovisionnement continu.**

En ce qui concerne le coût de commande  $F$ , puisqu'il s'agit de la production on considère les coûts de lancement en fabrication (bon de travail, sortie matière, changement d'outils, réglage, contrôle,...etc.). La quantité économique devient :  $Q_e = \sqrt{\frac{2 F C_a}{P_u t (1 - C_a/P_a)}}$

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 F C_a}{P_u t (1 - C_a/P_a)}}$$

Nota: Si  $P_a = C_a$ , la quantité économique est infinie. Ceci correspond à une production continue de l'article, sa cadence de production étant identique à sa consommation.

### 2.1.2 Groupage de produits

Lorsque le coût de passation de commande est fixe quel que soit le nombre d'articles différents commandés, on peut obtenir une réduction globale des coûts d'approvisionnement en passant des commandes groupées de plusieurs articles à un même fournisseur. On cherche alors à déterminer le

nombre  $N$  de commandes par an qui minimise le coût global. Pour chaque article, le stock moyen vaut  $Ca/2N$ .

Pour  $n$  articles achetés à un même fournisseur, à la fréquence de  $N$  commandes par an, on a :

- Coût possession =  $(\sum Cai Pui) t / 2N$ .
- Coût approvisionnement =  $F N$ .
- Coût total  $F(N) = (\sum Cai Pui) t / 2N + F N + \text{Coût d'acquisition}$ .
- Coût minimum quand la fonction dérivée du cout total par rapport à la fréquence de commandes est nulle :  $F'(N) = 0$ . Soit  $N = \sqrt{\frac{(\sum Cai Pui) t}{2 F}}$

## 2.2 La tenue et l'analyse du stock

### 2.2.1 La tenue du stock

La tenue d'un stock consiste à enregistrer les mouvements du stock, valoriser le stock pour le contrôle de gestion et procéder aux inventaires. Les mouvements du stock sont constatés par des entrées et sorties de stock.

- Les entrées en stock sont constatées lors de la livraison après achat ou lors de la fabrication de l'article. Lors de l'entrée, le magasinier procède au contrôle de la qualité entrée et au remplissage des documents comme les bons d'entrée ou bon de réception, les fiches de stocks etc. Elle se matérialise par l'augmentation du stock existant.

- Les sorties du stock sont constatées lors de la livraison après-vente ou lors de la livraison pour consommation des articles. Lors de la sortie, le magasinier procède à la sortie de la quantité demandée et au remplissage du bon de sortie ou du bon de livraison, la fiche de stock etc. La sortie du stock se matérialise par la diminution du stock existant.

La fiche de stock d'un article est un document retraçant les données relatives à l'identité de l'article, ses caractéristiques permanentes ainsi que l'historique récent des mouvements de stock effectués sur cet article. Elle permet de suivre l'évolution des stocks. Elle comprend au minimum les renseignements ci-après :

- Numéro de l'article et sa désignation ;
- L'unité de comptage ;
- Date et nature du mouvement (entrée ou sortie) ;
- Numéro du bon ;
- Niveau du stock.

Le coût d'achat représente l'ensemble des charges engagées pour l'acquisition des produits, jusqu'à leur mise en stock (prix d'achat, coûts accessoires (transport, commission ...) et coût de mise en stock (réception, contrôle, magasinage ...). La comptabilité matière donne lieu à l'établissement d'un document, avec en débit les entrées et en crédit les sorties. Pour le suivi en valeur des stocks, il faut reprendre au débit le stock initial avec son montant. Ensuite, au fur et à mesure des achats le compte du stock est débité au coût d'achat. Les matières sortantes doivent être évaluées au coût pour lesquels elles sont entrées. Parmi les méthodes utilisées pour l'évaluation des sorties la méthode du coût moyen pondéré est la plus utilisée. C'est le CMP de fin de période :  $CMP = \frac{\text{Valeurs globales (stock initial + entrées)}}{\text{quantités (stock initial + entrées)}}$ .

### 2.2.2 L'analyse du stock

Les stocks peuvent représenter 20 à 60 % des actifs de l'entreprise, il est donc, impératif d'optimiser le niveau de stock. Au niveau d'une entreprise on lance, en général, des campagnes d'épuration du stock, pour éliminer les stocks morts, dégager de l'argent, libérer de la place et éviter l'obsolescence de produits. Pour savoir, si un stock est mort, on calcule le taux de rotation du stock. C'est un indicateur de l'efficacité des achats et de gestion des stocks (degré de désuétude). Il correspond à la fréquence moyenne de renouvellement du stock au cours d'une période donnée.

$TR = \text{Conso} / S_m$ .

- Conso est la consommation durant une période donnée
- $S_m$  est le stock moyen durant cette période

Ce taux mesure le nombre de fois que le stock a été renouvelé au cours de cette période. Ce ratio est important puisque des bénéfices bruts sont réalisés chaque fois que les stocks sont renouvelés.

D'autre part, un stock est en général constitué de produits hétérogènes, il est important d'analyser le stock pour déterminer les produits prioritaires qui demandent des conditions particulières de gestion. Beaucoup de phénomènes suivent la loi statistique du statisticien italien Pareto, en particulier les stocks, cette loi peut se résumer en disant que 20% des articles représentent à peu près 80% de la valeur totale du stock [5]. L'analyse de Pareto est aussi appelé analyse ABC. En effet, elle nous permet de distinguer trois classes d'articles :

- Classe A : articles les plus consommés 80%.
- Classe B : classe intermédiaire 15%.
- Classe C : articles les moins consommés 05%.



Si certains articles représentent une part importante de consommation en valeur, c'est qu'ils sont particulièrement chers, ou qu'ils sont trop consommés. Une analyse de Pareto globale ne permet pas de séparer ces deux aspects, qui sont pourtant tout à fait différents. Il peut être utile de procéder à trois analyses ABC, une analyse sur les prix unitaires, une deuxième sur les consommations en quantités (les quantités ne sont pas toujours homogènes) et une dernière analyse globale (consommation x prix). L'analyse ABC permet au gestionnaire de repérer les articles les plus chers, pour optimiser leur gestion et les articles les plus consommés (fast movers), pour les placer le plus près des lieux d'utilisation.

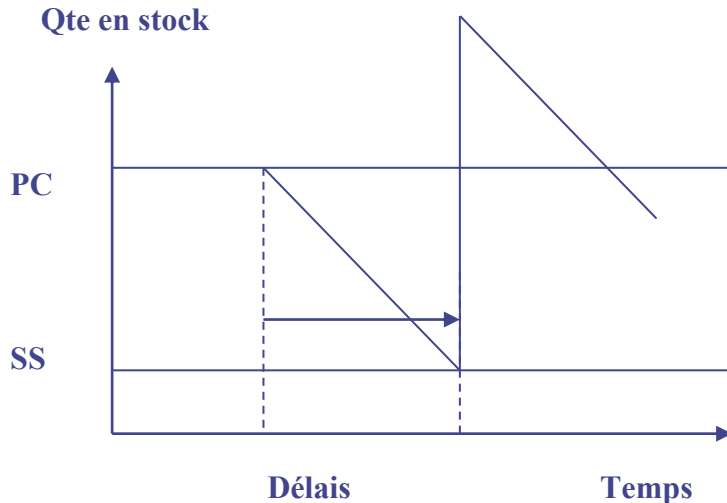
### **2.3 Les méthodes d'approvisionnement**

La gestion des approvisionnements commence par la définition des besoins (cahiers des charges), ensuite il faut chercher les fournisseurs capables de satisfaire ce besoin et finalement, il faut commander le produit et le réceptionner. Avant de passer commande le responsable des achats doit savoir quand est ce qu'il doit le faire et quelle quantité doit il commander. La formule de Wilson est une méthode théorique qui ne peut répondre à ces questions. En effet, la livraison n'est jamais instantanée, le fournisseur impose des délais de livraison. Il y a deux méthodes pratiques, se basant sur la méthode de Wilson, qui permettent de gérer un stock :

- On peut attendre que le stock tombe au-dessous d'un niveau d'alerte pour passer commande (méthode de point de commande).
- On peut passer systématiquement commande à des dates précises (méthode de réapprovisionnement périodique)

#### *2.3.1 Méthode du point de commande (quantité fixe, périodicité variable)*

A l'aide de la formule de Wilson on calcule la quantité économique à commander  $Q_e$ .



**Figure 2.3 : méthode de point de commande.**

La méthode du point de commande consiste à commander la quantité  $Q_e$  chaque fois que le stock descend au-delà d'un seuil (point de commande, Figure 2.3). On détermine donc, un niveau de stock à partir duquel un réapprovisionnement est déclenché (Point de commande ou Stock d'alerte). Ce niveau doit nous permettre de subvenir au besoin durant le délai de livraison, en considérant, les irrégularités de consommation et les retards de livraison.

- Point de Commande = Stock Sécurité + Consommation moyenne pendant le délai de livraison.

- $PC = SS + C_m (D_m)$

- La quantité fixe commandée est égale à la quantité économique  $Q_e$ .

### 2.3.2 Méthode du réapprovisionnement périodique (périodicité fixe, quantité variable)

A l'aide de la formule de Wilson, on calcule la périodicité économique de re-complètement (période économique  $T_e = 12 Q_e / C_a$  en mois).

La méthode de réapprovisionnement périodique consiste à commander la quantité qui permettra de re-compléter le stock à un niveau donné (le Niveau de Re-complètement  $NR$ ) avec une périodicité  $T_e$  fixe (

Figure 2.4).

A chaque période de commande, la quantité commandée est égale à la différence entre le niveau de re-complètement et le niveau réel du stock  $Q_c = NR - Q$ .

Le niveau de re-complètement doit permettre de subvenir au besoin durant toute une période économique  $T_e$ , et durant le délai de livraison, en considérant, les irrégularités de consommation (pendant toute cette durée) et les retards de livraison.

- Niveau de re-complètement = Stock Sécurité + Consommation moyenne pendant (une période  $T_e$  + le délai de livraison).

- $NR = SS + C_m (T_e + D_m)$

La périodicité de commande est fixe elle est égale à la période économique  $T_e$ .

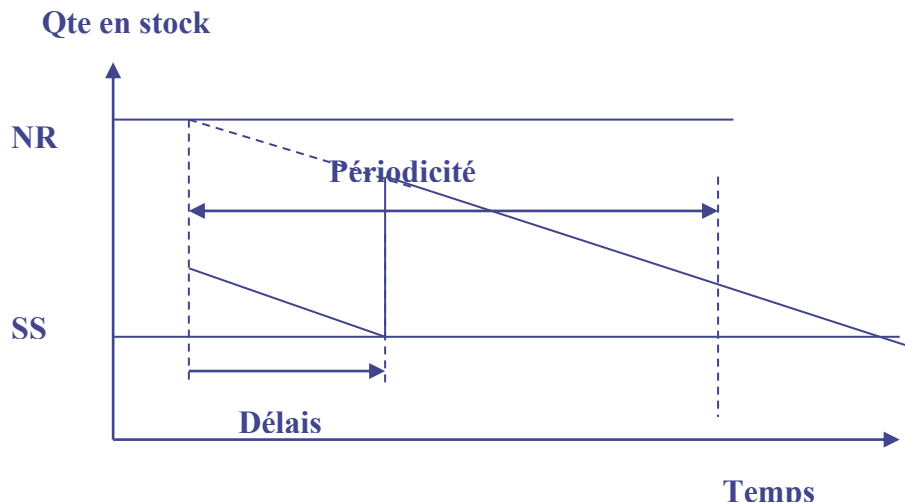


Figure 2.4: méthode de re-complètement.

## 2.4 Avantages et inconvénients des différentes méthodes

Pour la méthode de réapprovisionnement périodique, parmi les avantages nous pouvons citer :

- Un suivi des stocks simplifié.
- Possibilité de regrouper les commandes.

Mais elle présente l'inconvénient de l'importance du stock de sécurité.

Pour la méthode du point de commande, parmi les avantages nous pouvons citer :

- Un stock de sécurité faible.
- Une plus grande fiabilité.

Mais elle présente l'inconvénient de la nécessité d'un suivi permanent (difficile à gérer).

## 2.5 Calcul du stock de sécurité

En pratique, les hypothèses de Wilson sont rarement totalement vérifiées. Lors d'une commande la consommation n'est pas régulière et les délais de livraison ne sont pas toujours respectés (figure

3.5). Dans ce qui suit nous allons voir comment calculer le stock de sécurité, qui va nous permettre de se prémunir contre les surconsommations et les retards de livraison.

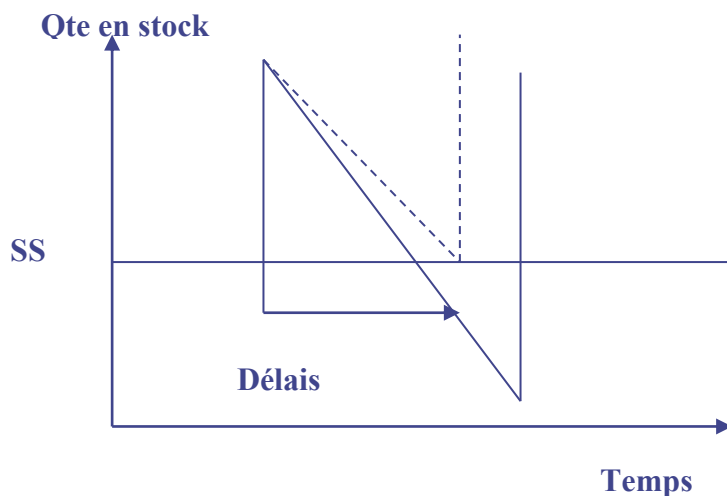
### 2.5.1 Taux de service

En théorie, ce stock de sécurité devrait être calculé de façon à minimiser la somme des coûts liés à l'existence des stocks (Coût de stockage + Coût de rupture). En pratique, compte tenu de la difficulté à déterminer le coût de rupture, le stock de sécurité est généralement déterminé pour atteindre un seuil de taux de service souhaité.

Le taux de service peut être considéré comme le complément du taux de rupture (un taux de service de 95% correspond à un taux de rupture de 5%). Le taux de service et la probabilité de non rupture de stock (un taux de service de 95% implique une probabilité de rupture de stock de 5 fois sur 100). Il existe plusieurs façons de définir le taux de rupture de stocks (fréquence des demandes non satisfaites, nombre d'articles non servis ou reportés, ...etc.). De même, il faudra choisir une définition du taux de service, par exemple :

Taux Service = Nombre de demandes servies / Nombre de demandes total

Exemple : sur 100 demandes de sortie de stock, 95 ont pu être satisfaites: le taux de service est donc de 95%



**Figure 2.5 : Le stock de sécurité**

### 2.5.2 Calcul du stock de sécurité

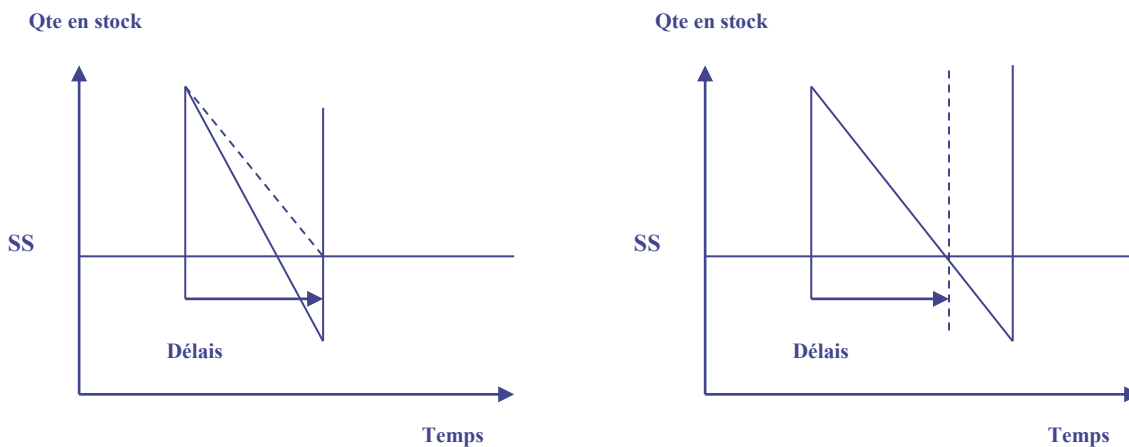
La quantité économique, ainsi que la date de commande sont déterminées en fonction de la consommation moyenne. En conséquence, si la consommation réelle pendant le délai de livraison est supérieure à la consommation moyenne, on constatera une rupture de stock avant la date de

livraison (statistiquement dans 50% des cas). Pour diminuer ce risque de rupture, il est nécessaire de prévoir un stock de sécurité, destiné à couvrir les aléas de consommation pendant le délai de livraison.

Concrètement, on considère généralement que la consommation par unité de temps suit une loi normale dont les caractéristiques (moyenne  $C_m$ , écart type  $\sigma_c$ ) sont déterminées à partir d'un historique de consommation.

Le stock de sécurité se calcule alors à partir de l'écart type  $\sigma_c$  d'un coefficient  $F_s$  (facteur de sécurité) correspondant au taux de service souhaité, et du délai de livraison moyen  $D_m$ .

- Ecart de consommation  $E_c = \sigma_c F_s$ .
- La variance est une grandeur additive, donc  $\text{Var}(C, D_m) = D_m \text{Var}(C)$ .
- Le stock de sécurité vaut :  $SS_c = E_c * \sqrt{D_m}$



**Figure 2.6:** calcul du stock de sécurité.

Lorsque le **délai de livraison** est également aléatoire (moyenne  $D_m$ , écart type  $\sigma_d$ ), le stock de sécurité est plus complexe à établir. Par mesure de simplification, on admet généralement de le déterminer par une approximation qui consiste à le majorer par la consommation moyenne pendant l'écart de délai de livraison.

Ecart de délai  $E_d = \sigma_d * F_s$ . Donc, le stock de sécurité  $SS_d = C_m * E_d$ .

Enfin, si nous supposons que la consommation n'est pas régulière et le retard de livraison est probable, nous avons un stock de sécurité :

$$SS = E_c * \sqrt{D_m} + C_m * E_d = F_s (\sigma_c \sqrt{D_m} + \sigma_d C_m).$$

Dans le cas de la méthode du réapprovisionnement périodique, le Stock de sécurité doit couvrir les aléas de consommation pendant la période d'incertitude, constituée du délai de livraison et d'une période de réapprovisionnement. Nous avons, donc, un stock de sécurité :

$$SS = F_s (\sigma_c \sqrt{Dm + Te} + \sigma_d C_m).$$

Donc nous pouvons conclure que ; malgré le fait que la méthode de réapprovisionnement périodique présente l'avantage de la gestion simplifiée du stock, son inconvénient est l'importance du stock de sécurité. Par suite, lorsque nous analysons un stock, nous réservons, en général, la méthode de point de commande aux articles de la classe A. Nous pouvons gérer les articles de la classe B avec un réapprovisionnement continu et les autres articles peuvent être commandés à l'aide de la méthode double tiroir.

## 3 Chapitre 3

### La gestion des données techniques

#### 3.1 Les données techniques

Les données utilisées par le système de conduite de production peuvent être classées en trois types :

- Les données venant de l'extérieur du système de production principalement constituées des données commerciales. Exemple le PIC.
- Les données venant du système physique de production permettant de connaître l'état de ce dernier (suivi de production), état de l'atelier, pannes machines, grève...
- Les données décrivant les ressources, les produits et la manière de transformer ces derniers, c'est la gestion des données techniques.

Les données techniques (DT) sont la base du système d'information (SI) de l'entreprise et leur organisation constitue la première étape dans l'élaboration d'un ensemble structuré de gestion de production. Les DT permettent de décrire un produit et sa fabrication, les moyens disponibles pour le fabriquer et leurs utilisations. Cependant, afin d'alimenter des fonctions des niveaux hiérarchiques supérieures, les données techniques de base définies par le bureau d'études et par le bureau des méthodes sont reprises sous une forme agrégée (exemple de regroupement des temps sur opérations élémentaires successives sur un même poste de travail dans une gamme).

Les principales données techniques utilisées sont : les articles, les nomenclatures, les ressources, les gammes et les outillages. Un point intéressant c'est l'exactitude des données techniques. En effet, des valeurs erronées peuvent conduire à une planification ou une programmation irréaliste.

##### *3.1.1 Les articles*

Les produits envisagés concernent bien évidemment les produits finis, mais également tous les articles intermédiaires gérés par le système.

Les données articles sont notamment :

- Un identifiant ou un code précis et discriminant, souple et simple
- Une désignation ou le libellé : l'appellation en clair de l'article,
- Les données de classification : utilisées pour les tris (familles, sous familles, catégories liés au stockage ou à la matière...),
- Des données de description physique (couleur, matière, masse, forme...) sous formé libre ou structuré.
- Des données de gestion, comme lots de lancement ou commande, article de remplacement, référence du gestionnaire, référence du fournisseur, stock minimal de déclenchement, délai d'obtention, lieu de stockage, le coefficient de perte (perte prévue pendant le cycle de fabrication de l'article), quantité économique...
- Les données économiques indiquant des prix et coûts standard selon les besoins de l'entreprise.

Les fonctions que subissent ces données sont :

- La mise à jour : création, modification, suppression, archivage
- Manipulation : lecture, recherche, édition,...
- Listes et catalogues : sélection multi-critères, choix d'informations, fréquence d'exécution.
- Communication : coordination inter systèmes, importation, exportation et traduction...

### 3.1.2 Les nomenclatures

Une nomenclature est un répertoire descriptif de l'ensemble des articles, affectés de leur quantité, entrant dans la composition d'un produit. La nomenclature est définie selon la complexité d'un produit, on distingue :

- Une nomenclature dite à plat ou en râteau : donne la liste des articles et la quantité nécessaire pour réaliser ce produit ; elle permet de déterminer les articles à acheter et d'en déduire le coût matière du produit.
- Une nomenclature arborescente ou à niveaux, définie en liaison avec les étapes de fabrication (assemblage, montage...). Elle assure une meilleure synchronisation avec la définition de la gamme, cette nomenclature est utilisée pour le calcul des besoins jalonnés.

Ainsi, la nomenclature est la description des liens réunissant les articles (matières premières, sous-ensembles, composants...) permettant d'obtenir le produit fini souhaité.

### 3.1.3 Les ressources

Par définition, les ressources ou moyens sont l'ensemble des hommes, machines, outils, outillages...nécessaires pour réaliser l'ensemble des opérations de production. Définir les ressources consiste à définir leurs caractéristiques, exemple de capacités de production. Une



ressource est caractérisée par : sa nature, son utilisation possible, son nombre et sa localisation. En ce qui concerne les opérateurs par leurs qualifications et leurs compétences.

Les ressources de l'entreprise sont hiérarchisées. Une entreprise est décomposée en usines et chaque usine en un ensemble d'ateliers. Un atelier est un ensemble de centres de charge ou d'ilots de fabrication, chacun d'eux étant un groupe de postes de travail.

#### *3.1.4 Les gammes*

Une gamme est définie par un ensemble d'opérations dont la succession rigoureuse assure l'obtention du produit final. Elles permettent de connaître les procédés de fabrication d'un produit. Une opération est caractérisée par la nature de cette activité, la ressource affectée, le cycle d'affectation et la charge pour une unité de produit.

On distingue plusieurs types de gammes. Outre les gammes de fabrication (usinage, montage...) sont également définies des gammes de remplacement, de contrôle, de réparation, de préparation...

Les propriétés d'une opération :

- Un numéro d'ordre permettant d'insérer de nouvelles étapes
- Les conditions de jalonnement (opérations parallèles, consécutives,...)
- La référence du poste de charge concernée
- Les temps

### **3.2 Gestion des données techniques**

Elle consiste à les actualiser au cours de leur cycle de vie et les transmettre aux services concernés. On remarque l'interchangeabilité des éléments définissant ces données ce qui rend nécessaire de gérer les modifications apportées à ces données.

Il est certain que la définition mais également la gestion des données techniques sont extrêmement liées. La recherche d'une certaine flexibilité en production, d'un coût de production le plus faible, d'un taux de qualité élevé et d'un faible taux de pannes machines, tend d'une part, à standardiser les produits finis et d'autre part, à structurer les moyens de production.

## 4 Chapitre 4 : La planification de la production

### 4.1 Introduction

La planification de la production consiste en la régulation à moyen terme de la production. C'est une décision tactique. Elle s'adresse uniquement au cas de la production en série. Elle ne s'applique donc pas au cas de la production unitaire.

Il existe deux approches en planification de la production :

- La programmation prévisionnelle des lancements en production et en approvisionnement, l'entreprise travaille avec des flux poussés.
- La planification juste à temps dont le principe fondamental est de produire la quantité strictement nécessaire aux besoins immédiats des clients.

La planification prévisionnelle, ou (le management ressource planning) cherche à établir la programmation de la production sur la base d'un système d'information. Partant des données physiques (stocks disponibles, livraisons attendues, demandes prévisionnelles, capacités de production...) et des données comptables (coûts de production, d'approvisionnement, de rupture), on établit un plan de production qui détermine pour chaque période les quantités à produire par produit, les quantités fabriquées dans chaque centre productif, le niveau de stock en produits semi finis et finis et l'utilisation des facteurs de travail et machines. L'utilisation des techniques d'optimisation aboutit à une programmation prévisionnelle.

Dans ce chapitre, nous allons aborder le sujet de la planification de la production. Dans un premier temps, nous décrivons la planification globale des capacités, ainsi que la planification détaillée de production. Ensuite nous allons présenter la méthode MRP qui permet la gestion des flux de production.

### 4.2 Planification globale des capacités

La planification stratégique permet de formaliser les projets à long terme de l'entreprise, sur un horizon allant de 2 à 5 ans ; Définir les marchés à pénétrer, les technologies à développer, les capacités de production à prévoir ... Elle conçoit une vision, où va l'entreprise ? La planification de production concerne les niveaux tactique et opérationnel et comme nous avons vu au premier chapitre elle comporte 4 niveaux de décision :

- Le plan de production est une décision d'ordre tactique, prise par la direction générale. En effet, à moyen terme, le directeur général doit prévoir les ajustements du plan de charge annuel avec les capacités. Cette analyse est réalisée en tenant compte des prévisions de production et en intégrant les contraintes et les projets nouveaux.
- Le programme directeur de production, sur un horizon de 1 à 3 mois, permet de déterminer pour chaque article les quantités à produire, c'est le domaine de responsabilité du responsable de production.
- Le plan de besoin en matières à moyen terme détermine la date et la quantité de chaque matière première à commander et de chaque pièce ou composant à lancer en production, afin de pouvoir réaliser le programme directeur de production.
- Enfin, à court terme la vocation naturelle d'un chef d'atelier est d'assurer l'ordonnancement de la production.

### **4.3 Plan de production**

La phase d'élaboration du plan de production à moyen terme est fondamentale ; elle constitue la clé de voûte du système de planification de la production. Le plan de production reflète la cohérence entre l'activité industrielle, le plan marketing et la politique financière de l'entreprise. Il est alors le résultat d'une négociation entre les différents responsables de l'entreprise. Il doit permettre de mettre en accord les objectifs commerciaux et les moyens tant techniques que financiers de l'entreprise. Le plan de production permet de faire une analyse budgétaire. Cette indispensable réflexion prospective en phase avec le futur de l'entreprise doit déboucher sur les choix et des décisions à moyen terme en termes d'effectif et de politique de stockage et de sous-traitance.

Au sein d'une entreprise, c'est le contrôle de gestion qui se charge de la gestion budgétaire. Le principe de fonctionnement du contrôle budgétaire est une confrontation périodique entre les budgets, et les réalisations effectives. Les budgets sont établis à partir des coûts standards. On définit dans l'entreprise plusieurs centres de coût et on établit un budget à partir des prévisions. Partant des centres de coûts élémentaires, les différents budgets sont discutés et synthétisés à chaque niveau hiérarchique, jusqu'à la Direction Générale. La mise en place d'un processus budgétaire permet de calculer les taux et les coûts standards, de comparer le réalisé par rapport au budgété, de suivre l'évolution du plan de production par rapport au budget et d'analyser les dérives. Cependant, avant de pouvoir établir les budgets de production et de vente, il faut connaître les prévisions de la demande et élaborer le plan de production.

En effet, la première entrée du plan de production est constituée des prévisions de ventes par mois. Il est recommandé de faire intervenir en entrée du plan de production des familles d'articles, des

macro-nomenclatures et des macro-gammes pour plus de facilités. Les prévisions de fabrication permettent de calculer des charges prévisionnelles de manière macroscopique, et de déduire soit au niveau usine soit au niveau atelier soit au niveau section, les charges prévisionnelles mois par mois. Le calcul peut être fait en indiquant pour chaque famille d'articles : Un nombre d'unités d'œuvre de fabrication. Les capacités sont saisies à la fois pour les machines et pour la main d'œuvre ; elles permettent de décider de nouveaux investissements en machines ou de prévoir de la main d'œuvre supplémentaire afin d'adapter le plan industriel et commercial. Le plan de production permet d'adapter la capacité aux variations de la demande, les différents modes de régulation envisageable sont de deux types :

- Internes : choisir une politique de stockage, taux d'utilisation des machines, prévoir de la main d'œuvre supplémentaire, repousser les activités de maintenance... etc.
- Externes : avoir recours à la sous-traitance, décider de nouveaux investissements en machines, location des équipements... etc.

Il doit aussi contrôler le compte d'exploitation prévisionnel et le plan de trésorerie de l'entreprise. L'établissement d'un budget annuel de fabrication suppose de bien maîtriser les coûts associés aux modes de régulation. Il n'est pas facile d'expliciter ces coûts à partir de la comptabilité analytique et une analyse des coûts est nécessaire. Une variation du niveau de production provoque une cascade de coûts qui viennent s'ajouter aux coûts de production :

- Coûts de réduction des effectifs et coûts des heures supplémentaires : indemnité de départ, prime des heures supplémentaires et prime de nuit.
- Coûts des heures non œuvrées : la non utilisation de la capacité augmente le taux horaire de main de main d'œuvre.
- Coûts de sous-traitance : le coût de sous-traitance est généralement supérieur au coût de fabrication interne.
- Coût de stockage : spécialement les coûts de détention.

L'élaboration du plan de production se fait généralement en quatre étapes :

- 1 Collecte des informations (capacités, charges, coûts...etc.).
- 2 Analyse des coûts.
- 3 Elaboration de différents scénarios de plan de production.
- 4 Choix d'un plan optimal. Plusieurs types de stratégies peuvent être proposés [2] :

- Stratégie de nivellement : les irrégularités de la demande sont aplanies par l'accumulation des stocks durant les périodes creuses pour les utiliser durant les périodes à forte demande.

- Stratégie synchrone : le taux de production suit parfaitement la demande, recours à la sous-traitance et aux heures supplémentaires.

- Stratégies modérées : l'évaluation des stratégies précédentes nous permet de proposer une nouvelle stratégie modérée, combinaison des stratégies extrêmes.

Nous pouvons faire plusieurs itérations : proposition et évaluation du plan, pour opter pour un plan convenable.

#### **4.4 Programme directeur de production**

Le plan global des capacités correspond à des décisions à moyen terme ; il devra être transformé en programme directeur de production. Cela revient à déterminer, par mois, sur l'horizon de planification :

- Le niveau des stocks en produits finis.
- Le volume à fabriquer pour chaque type de produit.

Le programme directeur de production correspond à une détermination plus précise des quantités prévues par le plan de production. Il ne concerne que la fonction production. On y incorpore les commandes fermes. Il est établi par articles. L'horizon utilisé est de l'ordre de 3 mois (13 semaines de production). La variable utile est donc, le plus souvent, la semaine. Le calcul repose alors sur les principes suivants (On connaît une certaine proportion des commandes clients et on doit raccorder la production avec cette réalité). On ignore donc, les prévisions des semaines passées et on prend en compte les commandes en retard et si la quantité en commande ferme dépasse les prévisions, on doit la prendre en considération pour les périodes futures.

Les délais de livraison sont un élément important dans l'élaboration du PDP et sa flexibilité.

- Quand le délai est très court, l'entreprise produit pour le stock, le PDP permet de suivre les ventes afin de s'assurer de la cohérence entre les prévisions et la demande.

- Lorsqu'on peut imposer un délai de livraison plus long que son délai de production (production sur commande), nous avons un ensemble de projets ou commandes à réaliser que le PDP permet de suivre.

- Dans le cas d'un assemblage à la commande, on élabore à partir des prévisions un PDP pour les composants du produit, l'assemblage est limité par la disponibilité des composantes.

Par suite nous considérons trois limites de périodes [2] :

- Limite de période ferme (délais d'assemblage) : on peut programmer des changements au-delà de cette période sauf qu'il faut s'assurer de l'existence des composantes.

- Limite de période de produit (délais d'assemblage + délais de fabrication) : on peut programmer des changements au-delà de cette période sauf qu'il faut s'assurer de l'existence des matières premières.
- Limite de période de capacité (délais d'assemblage + délais de fabrication + délais d'approvisionnement) : on peut programmer des changements au-delà cette période. Sauf qu'il faut s'assurer que nous pouvons prendre les dispositions nécessaires pour adapter la capacité aux changements considérés.

#### 4.5 La gestion des flux de production (Méthode MRP)

Pour planifier les besoins en matières et composants et réduire les stocks en cours (travail en flux tendu), nous utilisons des méthodes de gestion de flux. En effet, l'entreprise achète, fabrique et distribue des produits, ce qui entraîne un flux matière, un flux d'information et des stocks. L'écoulement des flux matières est un processus complexe, on peut le comparer à l'écoulement d'un fleuve ou les cours d'eau rencontrent différents barrages et cascades. La gestion des flux de production consiste à planifier la production des matières et des composants de telle sorte à réduire les stocks d'en cours tout en assurant les livraisons des produits finis. Elle est faite à partir du programme directeur de production. Elle consiste à déterminer les quantités des matières premières à commander et les tailles des lots des pièces et composant à lancer en production. La méthode MRP consiste à effectuer un calcul des besoins par éclatement de nomenclature, à partir du programme directeur de production.

##### 4.5.1 Principe de la Méthode MRP

La méthode MRP (Material Requirement Planning ou planification des besoins en composantes) est la plus connue des techniques existantes en gestion de la production. C'est historiquement la première méthode dont l'usage est lié à celui de l'ordinateur, et elle est à la base des premières GPAO (Gestion de production assistée par ordinateur). Elle a été conçue à partir de 1965 par le Dr. Joseph Orlicky. Ce dernier a créé en 1970 avec George Polssol et Oliver Wight le programme américain de gestion de la production par la méthode MRP.

J. Orlicky [7] a exprimé l'idée que les besoins qui portent sur les différents produits présents dans l'entreprise appartenaient à deux types différents et à deux types uniquement.

- Les besoins indépendants (produits finis) appelés également besoins aléatoires ou externes, qui ne peuvent être qu'estimés.
- Les besoins dépendant (matières premières et composantes), appelés également besoin induit, ou internes, ils peuvent et doivent être calculés.

Ainsi, en dissociant la demande aléatoire (clients) de la demande en composants, la production ne devra plus être arrêtée à cause d'un composant mineur manquant.

La méthode MRP calcul par éclatement de nomenclatures les quantités en composants nécessitées par le carnet de commandes, puis consiste à suggérer des quantités à acheter ou à approvisionner (MRP version1). Elle a évolué et s'est transformée en méthode MRP2 (Manufacturing Ressources Planning) le calcul mis en œuvre dans la méthode MRP1 est alors suivi d'une planification de la charge.

#### *4.5.2 Description de la méthode MRP*

Pour illustrer la méthode, on se servira dans ce chapitre d'un exemple unique. Considérons le cas d'une valise (nomenclature Figure 4.1).

##### **4.5.2.1 Besoins bruts et besoins nets**

Le besoin brut sur un article composant est la quantité nécessaire pour satisfaire la demande ; c'est la somme de la quantité nécessaire pour le montage des produits composés utilisant ce composant et de la quantité vendue comme rechange. Le besoin brut sera donc la somme des besoins induits par les besoins en composant de cet article et des besoins dits externes.

**Besoin brut = besoin induit + besoins externes sur un article**

Reprenons l'exemple ci-dessous et supposons une production de 150 Valises. Le besoin sur les Ferrures sera de :  $150 \times \text{coefficient} = 150 \times 2 = 300$ . Le besoin de 300 Ferrures est un besoin induit par la fabrication de 150 Valises. Supposant de plus qu'un client nous commande pour la même semaine 100 Ferrures. Le besoin sera alors  $100+300=400$ .

**Le besoin net** est calculé à partir des besoins bruts en prenant en compte les stocks et en-cours de fabrication et les ressources. Le principe consiste à gérer un profil de stock (stock prévisionnel) dans chacune des périodes entre la date du jour et l'horizon de planification. Chaque événement, besoin ou ressources, se produit durant la période considérée est affectée à cette période. La période considérée étant l'élément de discrétisation, elle n'a pas de sous-ensemble. On reporte à chaque fois le stock fin de période T en stock début de période T+1. De manière générale, on effectue :

**Stock (T+1) = Stock (T) + Ressources (T) – Besoin (T).**

##### **4.5.2.2 La procédure interne de M.R.P.1**

*Pour tout composant*

*dont on a déjà traité les composants qui l'utilisent faire*

Transformer les besoins bruts de ce composant en besoins nets

(en tenant compte des demandes différées, des stocks et des livraisons attendues).

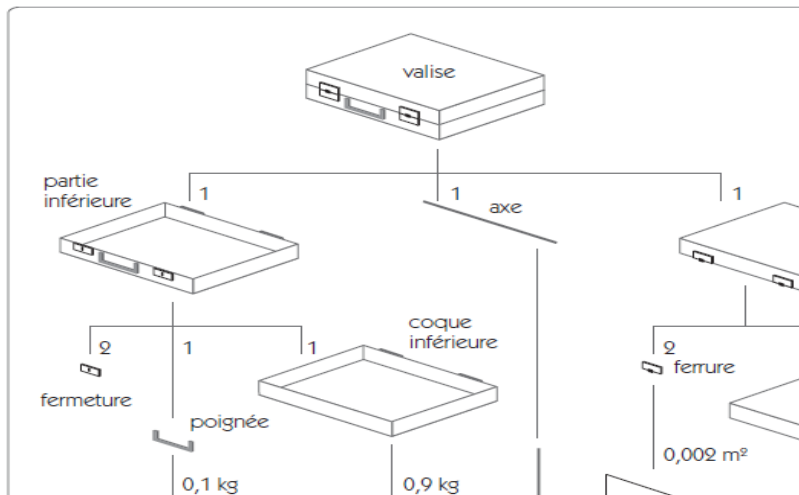
« Négociier pour traiter les anomalies sans ajouter de besoins nets ».

Regrouper les besoins nets et les décaler du délai standard pour obtenir des lancements en fabrication.

Déduire des lancements en fabrication les besoins bruts qu'ils induisent sur les composants intervenant dans la nomenclature en tenant compte des facteurs de répétition.

Fin pour tout

Exemple



**Figure 4.1 : nomenclature technique d'une valise traditionnelle**

Le besoin net existe si à la date T, on a un stock fin de période (T)  $< 0$ . Par exemple, considérons à nouveau nos Ferrures à une date donnée T et supposons que le stock début de période T est de 300 unités. On peut alors calculer le stock fin de période  $T = 300 - 400 = -100$ . Le besoin net en fin de semaines T est alors 100. On dit de la même manière qu'il existe un manque de 100 ferrures en fin de période T.

#### 4.5.2.3 Projets

Chaque fois qu'il existe un **besoin net** ou manquant, le principe est de supposer que ce besoin net est couvert par une ressource, cette ressource est un **projet** d'ordre de fabrication OF ou projet d'ordre d'approvisionnement OA si l'article est approvisionné. Le projet d'OF est transformé dans un 2ème temps en un **Lancement attendu**. Un besoin net à la période T est couvert donc par un projet d'OF à  $T-X$  (X : délai de fabrication.) qui va se transformer en une ressource à la période T. nous simulons donc une ressource, et cette simulation nous permet de livrer (toujours en simulation) les clients à la date voulue.



En l'occurrence, dans l'exemple choisi, les Ferrures est un article fabriqué. Supposons que le délai de fabrication des Ferrures est de 2 périodes. La simulation faite ci-dessus va donner lieu à un lancement en fabrication de 100 Ferrures à la période T-2. Ainsi, donc dans un deuxième temps on va transformer le projet de 100 en un OF, donc en Lancements attendus, et le tableau va devenir :

	S1	S2	S3	S4	S5
Stock en début de période			300	0	
Besoins bruts			400		
Lancements attendus.			100		
Projet	100				
Stock en fin de période			-100 / 0		

**Tableau 4.1 : calcul de besoins en ferrures (projets).**

#### 4.5.2.4 Explosion de la nomenclature

Un projet d'ordre de fabrication, qui est une ressource pour le composé, induit un besoin sur les composants de ce composé. Un projet à la période T induit donc un besoin brut sur les composants à T. Reprenons l'exemple précédent, en supposant que le besoin sur les ferrures se manifeste à la semaine 3 et qu'il génère un projet de 100 Ferrures à la semaine 1. On doit alors noter deux conséquences :

- On ne pourra fabriquer les Ferrures que si le délai de fabrication est inférieur strictement à 3 semaines. Ici c'est le cas  $2\text{semaines} < 3\text{semaines}$ .
- On ne pourra fabriquer les Ferrures que si l'on a en stock à la date de début de fabrication, la manière première, c'est à dire la tôle.

La tôle doit être disponible en période T-2. La quantité de matière est de  $0.002 \text{ m}^2$  par ferrure. Le besoin induit par 100 unités de ferrure est donc de :  $100 \times \text{coefficient} = 0.2\text{m}^2$ .

#### 4.5.2.5 Délai et cycle de fabrication

Le MRP exécute, en partant de la date d'exigibilité du besoin (date de livraison), un jalonnement régressif. C'est-à-dire, on commence la programmation à partir de la date de livraison et on déduit les délais de fabrication ou d'approvisionnement des composants (s'ils ne sont pas disponibles). Donc, si le cycle de fabrication globale est supérieur à la période ouverte (horizon de planification), il s'avère impossible d'exécuter le projet prévu. Reprenons l'exemple des Valises :

- Valises (délai d'assemblage (1) période).
- Partie Supérieure (délai d'assemblage (1) période).

- Axe (délai d'approvisionnement (3) périodes).
- Partie inférieure (délai de fabrication (2) périodes).

Pour pouvoir planifier la production des valises, il faut que l'horizon de planification soit au moins égal à 4 périodes si les composants de niveau 2 sont en stock.

#### 4.5.2.6 Quantité économique

Comme déjà vu, un besoin net sur un composant à T induit un projet d'OF à la date T diminué du délai de fabrication. Mais de quel délai s'agit-il ? Le délai de fabrication du composant est différent selon la quantité en projet. Dans les exemples précédents, à chaque fois qu'un besoin net existait, nous avons défini un projet de quantité égale à celle du besoin net. Nous avons vu dans le chapitre consacré à la gestion des stocks l'existence des quantités économiques de réapprovisionnement. Par un raisonnement identique pour les articles fabriqués, on définit une quantité économique qui minimise les coûts de lancement. Donc, si l'article est géré sur quantité économique, lors de chaque projet on doit proposer une quantité au moins égale à la quantité économique.

Reprenons l'exemple précédent : Projet 100 unités. Supposons maintenant que la quantité économique sur les Ferrures sera de 200. La quantité du projet sera alors de 200.

#### 4.5.2.7 Remarques sur la méthode MRP

1. Souvent les regroupements en production sont effectués en utilisant ce qui est appelé une « quantité économique » comme en gestion de stocks. Cette quantité économique est demandée et non pas calculée par le progiciel MRP de GPAO (Gestion de Production Assistée par Ordinateur) dès l'instant où ce type de regroupement est spécifié pour le composant considéré.
2. Les modèles de calcul de la quantité économique vus en gestion de stock, formule de Wilson en particulier, sont abusivement utilisés ici même si les hypothèses de leur utilisation ne sont pas réunies.
3. L'utilisation de M.R.P. nécessite de fournir pour chaque commande à un fournisseur et pour chaque stade interne de fabrication un « délai standard ». Ce délai standard est demandé et non pas calculé par le progiciel MRP de GPAO (Gestion de Production Assistée par Ordinateur).
4. Ce délai standard par stade de fabrication d'un composant est particulièrement instable, car il dépend de la charge de la ressource de production qui va le fabriquer : si la charge de l'atelier diminue, les délais diminuent ; mais si on diminue les délais standards pris en compte par le système de GPAO, on augmente la charge de l'atelier et donc les délais standards réels augmentent (cercle vicieux, vicié par la présence de plusieurs produits et la possibilité au niveau de l'ordonnancement de jouer avec leurs priorités).

#### 4.5.3 MRP et extensions financières

La méthode MRP2 (Management Ressources Planning) est une extension du MRP 1. Le calcul décrit plus haut est complété par un bilan des charges (à capacité infinie) sur les projets d'OF [6]. A ce stade, on connaît pour une période :

- Les OA ordres d'achat, c'est à dire par date de livraison une prévision des réceptions fournisseurs. En tarifiant ces ordres et en prenant en compte les délais de règlement, on peut connaître par période les engagements d'achat,
- Les OF ordres de fabrication. En les préparant comme des ordres de fabrication fermes, à l'aide de leur gamme, on déduit par section la charge prévisionnelle. En valorisant cette charge au taux horaire de la section ; on déduit par période les engagements de prestations (frais du personnel, amortissement machines, sous-traitances etc.).

La somme des deux coûts (matière + main d'œuvre) correspond donc à un tableau récapitulatif par période des charges directes de l'entreprise.

La partie produit de l'entreprise étant connue à partir du programme de production (comparatif prévisions de ventes et commandes fermes), elle permet de consolider une synthèse globale en valeur au niveau de l'entreprise. On est alors dans un système en boucle fermée. Ce qui permet un contrôle des engagements de charges et une validation des délais. La méthode MRP 2 s'étend ainsi jusqu'à la planification financière et comptable.

Pour la mise en place correcte de la méthode MRP il faut observer certaines conditions. Comme préalable, le programme de production doit être clairement formalisé et le système de planification doit comprendre une planification des capacités en amont. D'autre part, il faut respecter certaines conditions à savoir ; la justesse des données en stock, des nomenclatures et des gammes...et les modifications doivent être prise en compte de manière systématique.

#### 4.6 Etude de cas MRP2 : Exemple de synthèse

Afin de bien comprendre l'enchaînement des niveaux de planification précédant l'exécution et la cohésion du système, voici un exemple simple. Les nombres figurant dans les divers tableaux du paragraphe sont en caractères gras quand il s'agit de réponses aux questions.

##### 4.6.1 Plan industriel et commercial

Le tableau 7.38 montre la préparation du PIC de la famille de produits A à la date du 2 mai. L'unité choisie est ici la quantité, ce qui simplifiera le passage PIC-PDP, mais ce n'est pas souvent le cas ! Les prévisions de ventes des six prochains mois sont mentionnées. On souhaite définir le niveau de production induisant une charge constante qui permettra, pour cette famille, d'atteindre au mois

d'octobre l'objectif normal de stock. Les valeurs déjà connues au moment de la réunion du PIC, c'est-à-dire le 2 mai, sont indiquées en texte normal, alors que les valeurs approuvées, calculées ou décidées lors de cette réunion sont en gras.

**Figure 7.38 – Établissement du PIC**

Famille : A		Unité : quantité		Date : 2 mai					
Ventes	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct
Prévisionnel	7 100	7 300	7 300	7 300	7 100	7 100	7 300	7 300	7 100
Réel	7 400	7 200	7 400						
Écart	+ 300	- 100	+ 100						
Écart en %	+ 4,2	- 1,4	+ 1,4						

Production	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct
Prévisionnel	7 300	7 300	7 300	7 300	7 300	7 300	7 300	7 300	7 300
Réel	7 000	7 200	7 200						
Écart	- 300	- 100	- 100						
Écart en %	- 4,1	- 1,4	- 1,4						

Stock	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct
Prévisionnel	1 400	800	800	600	800	1 000	1 000	1 000	1 200
Réel	800	800	600						
Écart	- 600	0	- 200						
% objectif	67	67	50						

									1 400
								Objectif de stock :	1 200
									1 000

Le stock actuel est 600, il faut donc l'accroître de 600 pour atteindre l'objectif de 1200 fixé. Le total des prévisions de ventes pour les six prochains mois (mai à octobre) est de 43 200. Pour satisfaire à l'augmentation de stock, la production globale de ces six mois doit être de  $43\,200 + 600 = 43\,800$ . La charge induite devant être constante, la production mensuelle devrait être fixée à  $43\,800/6 = 7\,300$ . Le calcul de stock donne alors les valeurs mentionnées.

#### 4.6.2 Charges globales au niveau du Plan de Production

L'atelier qui réalise l'assemblage des produits finis de la famille A dispose de 18 opérateurs. Sachant que, pour ces produits, un ouvrier assemble en moyenne 105 produits par semaine, le PP est-il réaliste ?

Un opérateur peut assembler en un mois  $105 \times 4 = 420$  produits. La charge induite par le PP en mai est de  $7\,300/420 = 17,4$  opérateurs. La capacité mensuelle de cet atelier étant de 18, le PP est réaliste. Le PP est donc adopté.

#### 4.6.3 Programme directeur de production

La famille A est composée de 3 produits finis A1, A2 et A3. Il faut donc établir 3 PDP, un pour chaque produit fini. Supposons que la période du PDP soit la semaine alors que celle du PP était le mois. Le gestionnaire a donc une double décomposition à effectuer : passer de la famille A à 3 produits finis et éclater le mois de mai en ses 4 semaines.

Le PDP du produit A1 sur un horizon de 8 semaines est représenté ci-dessous. On remarquera que les ordres fermes (dans la zone ferme de 4 semaines) étaient donnés avant de compléter le tableau (ils proviennent des ordres rendus fermes par le gestionnaire au cours des semaines antérieures).

Les conventions décrites précédemment sont appliquées : les commandes « mangent » les prévisions de vente et le stock de sécurité est soustrait du stock pour obtenir le « disponible prévisionnel ».

$$St = 170 ; L = \times 150 ; D = 1 ; SS = 20 ; ZF = 4$$

		18	19	20	21	22	23	24	25
Prévisions des ventes		60	80	160	260	320	240	280	280
Commandes fermes		240	220	160	60		40		
Disponible prévisionnel	150	300	0	130	110	90	110	130	0
PDP (date de fin)		450		450	300	300	300	300	150
Disponible à vendre		160		290	240	300	260	300	150
PDP (date de début)			450	300	300	300	300	150	
Message : Rendre ferme l'ordre de 300 A1 à lancer semaine 21									

#### 4.6.4 Cohérence entre PP et PDP

Supposons maintenant que les trois PDP des produits finis A1, A2 et A3 soient établis. Ils sont donnés dans le tableau suivant pour le mois de mai. Étudions la cohérence entre le PP de la famille A et les PDP des produits A1, A2 et A3 composant la famille A.

## PDP des trois produits A1, A2 et A3 de la famille A

	mois de mai			
	semaine 18	semaine 19	semaine 20	semaine 21
PDP A <sub>1</sub> (fin)	450	0	450	300
PDP A <sub>2</sub> (fin)	1 000	1 200	1 100	1 000
PDP A <sub>3</sub> (fin)	300	900	0	750

La quantité totale des produits A<sub>i</sub> pour les 4 semaines de mai est de 7450. L'écart entre PP et PDP est de  $(7\,450 - 7\,300) / 7\,300 = 0,02$ . Un écart de 2 % est tout à fait acceptable (on tolère souvent 5 %).

### 4.6.5 Charges globales au niveau des PDP

Dans l'atelier d'assemblage, un opérateur réalise 75 produits par semaine s'ils sont de type A1, 100 produits A2 et 150 produits A3. Les PDP établis au précédent 4 sont-ils réalistes ?

Le tableau suivant permet de calculer le nombre d'opérateurs nécessaires à la réalisation de ces PDP. La dernière ligne montre une surcharge due aux ordres à terminer en semaine 21 et une sous-charge en semaine 20.

	mois de mai			
	semaine 18	semaine 19	semaine 20	semaine 21
A <sub>1</sub>	6	0	6	4
A <sub>2</sub>	10	12	11	10
A <sub>3</sub>	2	6	0	5
Total	18	18	17	19

Cherchons une modification de PDP permettant de régler le problème.

On peut lisser la charge en assemblant 150 produits A3 pour la semaine 20 et 600 pour la semaine 21. Le tableau suivant illustre cette solution. Remarquons que la répartition 150 + 600 produits A3 au lieu des 750 prévus peut être faite sans lancer deux ordres différents mais simplement en lançant l'ordre de 750 en fin de semaine 20 !

## Lissage de la charge globale par modification du PDP A3

	mois de mai			
	semaine 18	semaine 19	semaine 20	semaine 21
A <sub>1</sub>	6	0	6	4
A <sub>2</sub>	10	12	11	10
A <sub>3</sub>	2	6	1	4
Total	18	18	18	18

### 4.6.6 Calcul des besoins nets

L'article A1 est composé (entre autres) de 2 vis V55 spéciales fabriquées par l'entreprise. Elles sont spécifiques de A1. Un lot de ces vis est actuellement en cours de fabrication et doit être terminé en début de semaine 19. Développons le calcul des besoins nets pour V55.

$$St = 60 ; L = 1000 ; D = 2$$

		18	19	20	21	22	23	24	25
Besoins bruts			900	600	600	600	600	300	
Ordres lancés			1 000						
Stocks prévisionnels	60	60	160	560	960	360	760	460	460
Ordres proposés	Fin			1 000	1 000		1000		
	Début	1 000	1 000		1 000				
Message : Lancer 1 000 V55									

La ligne des besoins bruts correspond à la ligne « PDP début (avec évidemment un coefficient 2 dû au lien de nomenclature). Le lot en cours de fabrication cité est placé en semaine 19. Les calculs effectués sont indiqués en gras. Un message rappelle au gestionnaire le lancement à faire en début de la première période.

### 4.6.7 Calcul des charges détaillées

La gamme de fabrication de l'article V55 est donnée dans le tableau suivant. Effectuons le calcul de la charge induite par le programme prévisionnel de production de cet article sur le centre de charge REC5.

N°	Opération	Centre de charge	Temps de préparation	Temps unitaire d'exécution	Décalage/ date de fin
10	Décolletage	DEC1	5 h	0,01 h	– 2
20	Reprise 1	REP3	1 h	0,05 h	– 2
30	Reprise 2	REP2	2 h	0,03 h	– 1
40	Rectification	REC5	1 h	0,02 h	– 1

Chaque ordre porte sur une quantité de 1 000. La charge induite par un ordre occupe le centre de charge REC5 pendant :  $1 + 0,02 \times 1\,000 = 21$  h

Le jalonnement des opérations pour l'article V55 indique que les opérations 10 et 20 s'effectuent dans la semaine de lancement (décalage – 2 par rapport à la date de fin alors que le délai est de 2) alors que les opérations 30 et 40 s'effectuent dans la semaine suivante (décalage – 1). L'ordre lancé prévu pour la semaine 19 et les ordres proposés ayant des dates de fin en périodes 20, 21 et 23 induiront donc une charge de 21 h en périodes 18, 19, 20 et 22. Nous reportons sur le tableau 7.45 les charges que nous venons de calculer pour V55.

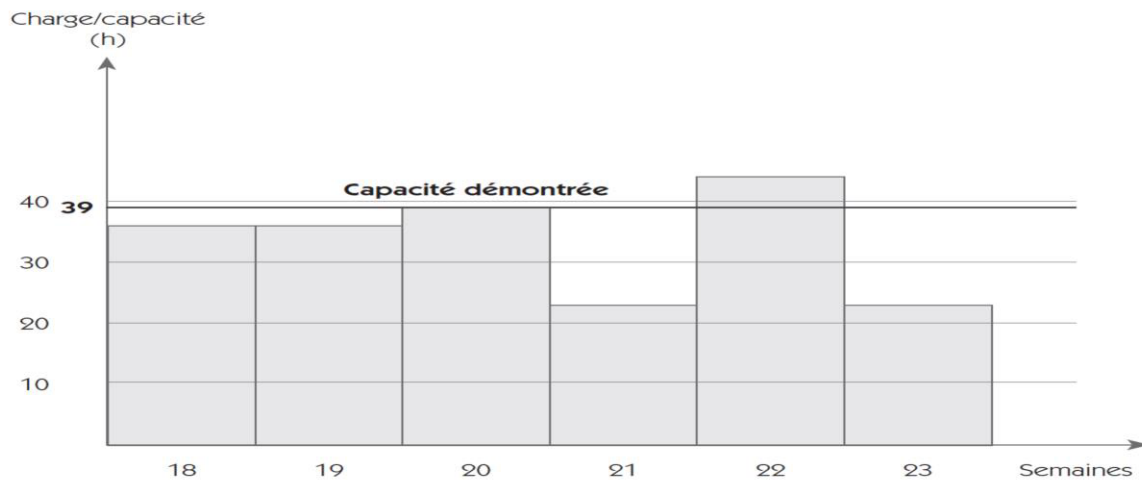
Ce tableau comporte également les différentes charges dues à d'autres articles (V47, V13 et V98) sur le même centre de charge. Nous calculons ensuite la charge totale sur REC5.

	18	19	20	21	22	23
V55	21	21	21		21	
V47	10	10		10		10
V13	5	5	10	5	15	5
V98			8	8	8	8
Total	36	36	39	23	44	23

Supposons que le centre de charge REC5 ait une capacité théorique de 40 h par semaine et un taux d'utilisation de 97,5 %. Traçons le profil de charge du centre REC5.

La capacité démontrée de REC5 est de :  $40 \times 0,975 = 39$  h par semaine. Le profil de charge est réalisé sur la figure suivante.





Nous constatons une surcharge de  $44 - 39 = 5$  h en semaine 22 et une disponibilité de capacité en semaine 21 de  $39 - 23 = 16$  h.

La solution consiste à avancer le produit le moins cher en valeur de production horaire. Exemple, si on a les couts de revient de V55 (Cr(V55)), V13 (Cr(V13)), et V98 (Cr(V98)), On multiplie les couts de revient de chaque produit avec la quantité produite par heure de chaque produit. On avance ainsi le produit qui a la valeur de production minimale.

*Remarque : Une solution qui vient immédiatement à l'esprit est de déplacer cette charge de la semaine 22 vers la semaine 21. Cette charge correspond à la fabrication de  $5/0,02 = 250$  articles V55. Nous pouvons par exemple scinder l'OF de 1 000 V55 initialement proposé en deux OF : un OF de 250 à lancer en semaine 20 (après vérification de la disponibilité des articles composants !) et un OF de 750 à lancer comme l'OF initial en semaine 21.*

*On remarquera que l'OF de 750 induira une charge de  $1 + 0,02 \times 750 = 16$  h en semaine 22 (5 h de moins comme attendu) et que l'OF de 250 induira une charge de  $1 + 0,02 \times 250 = 6$  h en semaine 21. Cette solution est illustrée sur le tableau suivant.*

	18	19	20	21	22	23
V55	21	21	21	6	16	
V47	10	10		10		10
V13	5	5	10	5	15	5
V98			8	8	8	8
Total	36	36	39	29	39	23

*Remarquons que, pour appliquer cette solution, il faut préalablement vérifier que la matière composant V55 sera disponible au bon moment.*

*Par ailleurs, la solution adoptée a l'inconvénient de créer deux OF : nous avons comptabilisé deux changements de série ; il y a donc du point de vue économique un surcoût. La solution simple et économique est de ne pas remplacer l'OF initial de 1 000 par deux OF, mais simplement de lancer l'OF de 1 000 le dernier jour de la semaine 21, ce qui permet de déplacer la surcharge sans modifier les coûts. Cet exemple illustre bien notre exposé sur MRP2 et permet de comprendre comment sa cohérence est établie de niveau à niveau.*

#### 4.7 Liens entre Moyen et Court terme

A la fin de la méthode MRP, on dispose d'un échéancier en besoins nets par famille de produits ou de composants, les limites de capacité prises en compte concerne des familles de machines ou secteurs de production ou centres de production et les informations sont des volumes à produire par périodes de moyen terme, le mois ou la quinzaine.

Il s'agit au niveau du court terme, d'organiser les fabrications pour la première période du moyen terme, en considérant cette fois les données détaillées, c'est-à-dire qu'ici, on s'intéresse aux produits à fabriquer réellement et aux machines qui effectueront effectivement les opérations et non plus aux familles de produits et de machines.

La première difficulté consiste donc à remplacer des volumes à fabriquer par familles de produits par des volumes à fabriquer de chaque produit.

Une partie de la réponse est contenue dans le fait que, pour la première période, il y a en général une plus grande part de commandes fermes connues de manière détaillée que des commandes prévisionnelles. Il suffit donc de compléter les commandes fermes par une répartition plus ou moins arbitraire des commandes prévisionnelles ou anticipées par familles de produits en commandes par produit.

Une fois cette difficulté résolue, on sait donc ce qu'il faut produire avec précision et si l'on connaît les gammes de fabrication détaillée des différents produits, il reste à décider **quand** on va exécuter chacune des opérations nécessaires sur les différentes machines et s'il y a possibilité de choix, **avec quel moyen** (ici avec quelle machine) va-t-on réaliser chaque opération ? Ce problème est le problème d'ordonnancement à court terme et les différentes manières de le résoudre selon les différentes hypothèses possibles constituent le dernier problème de la gestion de production.

## **5 Chapitre 5 : Ordonnancement de la production**

### **5.1 Caractéristiques de l'ordonnancement des ateliers :**

- La nature des arrivées des tâches : aspect statique vs dynamique
- Le nombre et la variété des machines
- Le nombre d'ouvriers dans l'atelier
- Ordre des opérations dans une séquence donnée
- Evaluation des règles d'ordonnancement

### **5.2 Objectifs de gestion de l'atelier**

- Minimiser les dates promises
- Minimiser les encours
- Minimiser le temps moyen de passage à travers le système.
- Minimiser les temps d'arrêt
- Avoir une connaissance précise de l'état des tâches à réaliser
- Réduire les temps de mise en place (réglages)
- Minimiser les coûts (production et main d'œuvre)

### **5.3 Les types d'ateliers**

- Atelier séquentiel (flow shop) : les n tâches ou opérations doivent être exécutés sur les m machines dans le même ordre et une seule fois par chacune des machines.
- Atelier général (job shop) aucune séquence d'opérations n'est fixe, aucune durée d'opération n'est fixe et une pièce peut circuler plusieurs fois sur la même machine pour des tâches différentes.

### **5.4 Les règles d'ordonnancement**

- Premier arrivé premier servi : les tâches sont traitées dans l'ordre d'arrivée, sans aucune exception

- Temps de traitement le plus court : les tâches sont effectuées selon leur durée, en débutant par la plus courte
- Date promise la plus tôt : les tâches sont effectuées dans l'ordre de leur date promise de livraison, en débutant par la plus tôt à livrer.
- Ratio critique : on calcule le rapport du temps de traitement d'une tâche et le temps restant avant la date promise. Les tâches sont effectuées dans l'ordre décroissant du ratio critique.

## 5.5 Modélisation du problème d'ordonnancement

### 5.5.1 Notations

En général, on reprend les notations anglaises les plus couramment utilisées pour ces problèmes :

- Un travail (job) correspond à l'exécution des opérations d'une gamme sur une pièce ou sur une série considérée comme insécable de pièces.
- Les caractéristiques du travail  $i$  sont :
  - Sa durée totale  $t_i$  et pour tout  $j$  la durée de sa  $j^{\text{ème}}$  opération  $p_{i,j}$  (processing time).
  - Son début au plus tôt ou date d'arrivée  $r_i$  (release date)
  - La date au plus tard au-delà de laquelle le travail non achevé est considéré comme en retard  $d_i$  (due date)

Ce qui constitue les **données** du problème d'ordonnancement, les inconnus, ou les variables de décision du problème d'ordonnancement à résoudre sont :

- La date de fin ou d'achèvement du travail  $C_i$  (Completion time)
- Et ou selon les problèmes :
  - ✓ Soit l'ordre dans lequel les travaux passent sur les différentes machines,
  - ✓ La date de début ou de fin de chaque opération de chaque travail
  - ✓ La machine choisie pour exécuter l'opération lorsque certaines machines sont polyvalentes ou existent en plusieurs exemplaires.

A partir de la valeur des données et des variables, on peut définir un ensemble d'indicateurs permettant de mesurer si la solution proposée est plus ou moins bonne pour l'industriel.

Les mesures associées aux travaux sont les suivantes :

- Le temps de présence ou d'écoulement **Fi** (flow time) qui mesure le temps que la pièce passe dans l'atelier, il vaut  $C_i - r_i$ , sa minimisation permet de minimiser les encours
- L'écart par rapport au délai souhaité avec avance favorable et retard défavorable **Li** (lateness), il vaut  $C_i - d_i$  et sa minimisation conduit à terminer tout travail le plus tôt possible.
- Le retard vrai **Ti (tardiness)** qui vaut  $\max(0, L_i)$  ou  $\max(0, C_i - d_i)$  mesure le retard d'un travail exclusivement si celui-ci est en retard et n'apporte aucune compensation pour les tâches en avance.

On peut ajouter un autre critère qui n'est pas trop utilisé en industrie :

- L'avance **Ei** (earliness) qui vaut  $\max(0, -L_i)$  ou  $\max(0, d_i - C_i)$  dont la minimisation conduit à éviter que les travaux se terminent avant leurs délais souhaités.

A partir des indicateurs, on construit des **critères** d'appréciation des solutions d'un problème d'ordonnancement d'atelier selon trois processus systématiques :

- La minimisation de l'indicateur le plus défavorable pour l'ensemble des travaux :  
 $F_{\max} = \max(F_i)$  ou  $L_{\max} = \max(L_i)$  ou  $T_{\max} = \max(T_i)$
- La minimisation de la moyenne des indicateurs pour l'ensemble des travaux  
 $F(\text{barre}) = 1/n \text{ somme des } F_i$  ou  $L(\text{barre}) = 1/n \text{ somme des } L_i$  ou  $T(\text{barre}) = 1/n \text{ somme des } T_i$
- La minimisation de la moyenne pondérée des indicateurs pour l'ensemble des travaux.
- La minimisation de la durée totale de l'ensemble des travaux (makespan)  $M$  ou  $\max(C_i)$
- La minimisation du nombre de travaux présents en moyenne en 0 et  $M$  J barre.
- La minimisation du nombre de travaux en retard  $N_T$ .

## 5.6 Problème d'ordonnancement à une machine

### 5.6.1 Les hypothèses du problème de base à une machine

- C0 : la machine est toujours disponible (ni panne, ni maintenance)
- C1 :
  - o C 1.1 les n travaux sont indépendants entre eux
  - o C1.2 les n travaux sont constitués d'une seule opération
  - o C1.3 les n travaux sont tous disponibles dès l'instant 0

- C2 : les temps de préparation sont indépendants de la séquence des travaux et sont inclus dans la durée des opérations.
- C3 : Les caractéristiques des travaux sont connues à l'avance

### 5.6.2 Les solutions du problème de base à une machine selon les critères : la règle TOM (SPT)

Soit à ordonnancer N tâches indépendantes sur une machine. Notons  $C_j$  le temps de fin (achèvement) de la tâche programmée en position j. le temps d'achèvement d'une tâche étant la somme des temps d'exécution de la tâche avec ceux des tâches précédentes.

On a  $C_j = \sum_{k=1}^j T_k$

Le temps de présence moyenne des tâches est :

$$F(\text{barre}) = 1/n \left( \sum_{k=1}^n C_k \right)$$

$$\begin{aligned}
 F(\text{barre}) &= 1/n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^j C_k \\
 &= 1/n \sum_{k=1}^n (n+1-k) C_k
 \end{aligned}$$

Il s'agit d'une somme pondérée des temps opératoires, chaque temps opératoire étant pondéré par un facteur d'autant plus grand qu'il se trouve exécuté plus tôt dans l'ordonnancement.

Ainsi la règle **SPT** permet de minimiser ainsi le temps de présence moyen des travaux dans un système.

On peut conclure que

- la séquence SPT (shortest processing time) où les travaux sont ordonnés dans l'ordre non décroissant des durées minimise les critères  $F(\text{barre})$ ,  $J(\text{barre})$  et  $L(\text{barre})$ .

En effet :  $L(\text{barre}) = F(\text{barre}) - 1/n \text{ somme } (d_i)$  qui est une constante.

- La séquence EDD (earliest due date) où les travaux sont ordonnés dans l'ordre non décroissant des délais de fin souhaités minimise les critères  $L_{\max}$  et  $T_{\max}$
- la durée totale est un critère sans intérêt car en calant les travaux au plus tôt, quel que soit la séquence choisie, il est toujours égal à la somme des durées des travaux et toutes les séquences sont optimales.

### 5.6.3 Algorithme polynomial de Moore Hodgson

Permet de minimiser le critère  $N_T$  (le nombre de tâches en retard). Il fonctionne de la façon suivante :

#### *Initialisation*

$E$  = ensemble des travaux dans l'ordre EDD

$L$  = ensemble vide

Calculer le retard des tâches de  $E$  pour la séquence EDD

*Tant qu'il y a des travaux en retard dans  $E$  faire*

*$k$  = indice du premier travail en retard dans  $E$*

*$j$  = indice du premier plus long travail situé dans  $E$  entre les indices 1 et  $k$*

*ôter  $j$  de  $E$  et le mettre n'importe où dans  $L$  (qui est ordonnancé derrière  $E$ )*

*Calculer le retard des tâches de  $E$  pour la séquence EDD*

*Fin tant que*

Une solution optimale est l'ensemble  $E$  final dans l'ordre EDD (ensemble de tâches non en retard) suivi de  $L$  dans un ordre quelconque (ensemble des tâches en retard). On a  $N_T = \text{card}(L)$ .

### 5.6.4 Les extensions étudiées du problème de base à une machine

#### 5.6.4.1 Suppression de la seule hypothèse C0

La machine n'est disponible que sur des intervalles discontinus qui correspondent à des heures de travail normales ou à des heures supplémentaires qui impliquent des surcroits de coût horaire.

Le critère utilisé par Gelders et Kleindorfer est la somme du coût des heures complémentaires, de la somme pondérée des retards vrais et de la somme pondérée des temps de présence.

Le problème est NP difficile.

### 5.6.5 Les solutions du problème de base à deux machines selon les critères

Sous les mêmes hypothèses que le cas d'une machine, on a deux cas :

les tâches passent sur les deux machines dans le même ordre, et l'autre cas, quand l'ordre n'est pas obligatoire.

## 5.7 Problème d'ordonnancement sur deux machines

Chaque tâche nécessite pour son exécution le passage sur deux machines A et B. Soit  $t_{iA}$  et  $t_{iB}$  les temps d'exécution de la tâche  $i$  sur la machine A et B respectivement.

Le critère : la minimisation du temps total d'exécution des tâches sur les deux machines.

- 1/ Cas où toutes les tâches sont à exécuter sur A puis sur B.
- 2/ Le cas où toutes les tâches n'ont pas le même ordre de passage sur les deux machines.

#### 5.7.1 Algorithme de Johnson.

Son objectif est de minimiser la durée de réalisation d'une file d'attente de n pièces devant toutes passer selon le même ordre sur deux machines A et B (problème du type flow-shop).

Il peut s'énoncer ainsi :

Algorithme de Johnson

- 1. Rechercher la tâche i de temps d'exécution  $t_{ij}$  minimal
- 2. Si  $j = A$  placer cette tâche à la première place disponible  
Si  $j = B$  placer cette tâche à la dernière place disponible
- 3. Supprimer la tâche i des tâches encore à programmer.  
Retour en 1.

#### 5.7.1 Algorithme de Jackson.

Il résout le problème où les tâches ne s'exécutent pas dans le même ordre (openshop).

Algorithme de Jackson (1957)

1. Faire une partition de l'ensemble des n tâches en :

- L'ensemble A des tâches ne nécessitant que le passage sur la machine A
- L'ensemble B des tâches ne nécessitant que le passage sur la machine B
- L'ensemble AB des tâches nécessitant le passage sur A puis B
- L'ensemble BA des tâches nécessitant le passage sur B puis A

2. Calculer un ordonnancement pour chaque sous ensemble AB, A, BA, B

AB et BA par l'algorithme de Johnson, A et B par un ordonnancement (par exemple TOM)

Les ordonnancements sur les machines A et B

3. Pour la machine A : AB, A, BA

Pour la machine B : BA, B, AB



## 6 Bibliographie

- [1] J. Mélése, L'analyse modulaire des systèmes (AMS), Éditions d'Organisation Université, 1972.
- [2] J. Nollet, J. Kelada et M. O. Diorio, La gestion des opérations et de la production: une approche systémique, Gaetan Morin Editeur. 2ème Edition, 1994.
- [3] D. W. Forgarty, J. H. Blakstone et T. R. Hofmann, Production and inventory management, 2nd Cincinnati south-western Publishing Co, 1991.
- [5] G. Javel, Organisation et gestion de la production, Paris : Dunod, 2ème Edition, 2000.
- [6] F. Blondel, Gestion de la production, Paris: Dunod 2ème Edition, 1999.
- [7] J. Orlicky, Material Requirement Planning, MC Grow – Hill, 1975.
- [8] J. K. Liker et J. M. Morgan, «The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development,» *Academy of Management Perspectives*, 2006.
- [9] S. Shingo, A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint, Productivity Inc, 1989.
- [10] K. Matsuda, Le guide qualité de la gestion de production. Le pilotage industriel dans l'entreprise au plus juste, Dunod, 1998.
- [11] JL Brissard et M Polizzi "Des outils pour la GPI" aux Editions AFNOR Gestion en 1990.
- [12] Courtois, A., Martin-Bonnefous, C., Pillet, M., & Pillet, M. (2013). Gestion de production. Les Ed. d'Organisation.