

les références

Alain COURTOIS
Maurice PILLET
Chantal MARTIN-BONNEFOUS

Gestion de production

4^e édition - 35 000 exemplaires vendus

Éditions
d'Organisation

Gestion de production

Éditions d'Organisation
1, rue Thénard
75240 Paris Cedex 05

Consultez notre site :
www.editions-organisation.com

Des mêmes auteurs

Appliquer la maîtrise statistique des procédés MSP/SPC, Maurice Pillet, 2002.

Appliquer Six Sigma, Maurice Pillet, 2003

Les plans d'expérience par la méthode Taguchi, Maurice Pillet, 1997.

Qualité en production, Daniel Duret et Maurice Pillet, 2001.



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans l'enseignement provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du Droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

© Éditions d'Organisation, 1989, 1994, 1995, 2003
ISBN : 2-7081-2986-4

A. COURTOIS

CFPIM

Docteur ès Sciences

*Professeur émérite des Universités
Université de Savoie*

C. MARTIN-BONNEFOUS

CPIM

Agrégé d'Économie et de Gestion

*Ancien élève de l'ENS de Cachan
Professeur à l'IUT d'Annecy (OGP)
Université de Savoie*

M. PILLET

CFPIM

*Docteur HDR en Sciences
de l'Ingénieur*

*Agrégé en Génie Mécanique
Ancien élève de l'ENS
de Cachan
Professeur à l'IUT
d'Annecy (OGP)*

Gestion de production

Quatrième édition

Éditions

d'Organisation

Remerciements

Cet ouvrage est le fruit de plus de quinze ans d'enseignement et de conseil en gestion industrielle et qualité. Il résulte d'un échange permanent avec nos interlocuteurs tant universitaires qu'industriels.

Ce sont eux que nous voulons donc remercier en premier lieu : nos promotions successives d'élèves techniciens supérieurs et ingénieurs ou cadres et personnels des entreprises où nous sommes intervenus.

Autres interactions fructueuses : la formation de futurs diplômés aux modules de l'APICS (*American Production Inventory Control Society*) ainsi que les activités de l'Association PROJECTION (PROMotion de la GEstion de produCTION) d'échange entre milieu universitaire et milieu industriel.

Pour mettre au point cette quatrième édition totalement refondue de notre livre, nous avons été aidés par des amis du milieu industriel que nous tenons à remercier vivement, plus particulièrement Jean-Robert COMPÉRAT d'Alcatel AVTF nous a permis d'illustrer le chapitre sur les données techniques.

Nous n'oublions pas les collègues du département OGP de l'IUT d'Annecy qui, par leurs compétences, nous permettent des échanges fructueux dans un climat convivial.

Enfin nous remercions chaleureusement Pierre-Marie GALLOIS avec qui nous partageons beaucoup d'idées et qui nous a souvent éclairé par son approche visionnaire de l'avenir de la gestion industrielle.

Chantal BONNEFOUS-MARTIN

Alain COURTOIS

Maurice PILLET

Préface

Dix et dix font vingt !

Par Pierre-Marie GALLOIS

Lors de la précédente édition de leur ouvrage, Chantal Bonnefous, Alain Courtois et Maurice Pillet m'avaient fait l'amitié de m'en confier la préface. J'avais profité de l'occasion pour retracer les dix années parcourues ensemble sur les chemins de la gestion de production depuis la première version de leur livre.

Aujourd'hui, dix ans plus tard, après une profonde refonte de leur ouvrage liée à une évolution significative de l'environnement économique et industriel, la même équipe d'amis me sollicite à nouveau. Tout en les remerciant de la confiance dont ils m'honorent, je tiens surtout à les féliciter de la qualité du « réingéniering » de leur livre qui leur permettra, pour au moins dix nouvelles années, de rester la référence de la gestion industrielle.

Profitons de cette opportunité pour nous interroger sur le bilan de cette dernière décennie et sur les perspectives qui se dessinent.

Un premier constat, l'élargissement !

Comme les auteurs l'ont bien compris et traduit dans leurs propos, ces dix années ont vu la gestion de production évoluer progressivement vers une activité visant à coordonner et à faire circuler des flux de création de valeur, le plus rapidement possible, sur un périmètre de plus en plus large, au travers de ressources ajustées et optimisées tout en assurant dynamiquement la ponctualité des rendez-vous avec la demande des clients.

Qu'on la désigne sous le nom de « Management Industriel », de « Logistique Globale », de « Gestion Intégrée des Flux », de « Supply Chain Management », son efficacité exige une compréhension parfaite de la « mécanique » des flux physiques associée à une exigence permanente de simplification et de maîtrise ainsi que la construction d'une architecture de pilotage guidée par le souci constant de l'anticipation et de la réduction des inerties.

Elle fédère l'ensemble des acteurs non seulement de l'entreprise mais aussi de toute la chaîne logistique dans une vision dynamique et transversale de leur organisation, installe le temps comme grandeur managériale, donne le tempo, équilibre les jeux de pouvoir entre Commercial, Développement, Production et Achats en s'appuyant sur une expertise spécifique.

C'est à la découverte de ses multiples facettes et des méthodes sur lesquelles elle s'appuie que nous emmène cet ouvrage.

Un deuxième constat, les mêmes causes produisent les mêmes effets !

Quand il y a près de quinze ans, nous évoquions ensemble les principales causes d'échecs de la GPAO et que nous clamions qu'automatiser les problèmes n'était pas forcément la meilleure façon de progresser, nous étions convaincus avoir été entendus et que ce type de situation ne se représenterait plus.

Or, si aujourd'hui l'on ne parle plus de GPAO mais d'ERP, les embûches restent les mêmes voire se sont multipliées et force est d'observer que nous avons parfois la mémoire courte ; nous retombons trop souvent dans les mêmes pièges.

De surcroît, après l'automatisation des problèmes et l'excès de complexité, un nouveau risque nous guette, celui de la rigidification ; aller trop loin dans l'informatisation et dans l'automatisation, grave dans le marbre fonctionnements et paramètres. Comment alors concilier besoin d'adaptabilité et structuration, comment accepter et maintenir des zones de « flou » pour garantir la souplesse et l'autonomie ?

Abordant le sujet du choix des ERPs et de la conduite des projets d'informatisation les auteurs nous aident à nous prémunir face à ces différents risques.

Une vraie perspective, la révolution de l'intelligence !

Aujourd'hui et encore plus demain, la recherche de performance s'articule autour de trois grandes idées : la créativité, l'agilité et la coopération. Créativité parce qu'elle est la clé de l'innovation donc de la création de valeur, agilité parce que la productivité c'est aussi la vitesse, la constance de l'adaptation des organisations à un contexte qui évolue de plus en plus vite, coopération parce que les gains résident surtout dans la manière de combiner les différentes activités entre elles, au-delà même des murs de chaque entreprise. S'engager dans ces trois directions exige la mobilisation et le développement de l'intelligence collective.

Nous avons l'intime conviction que l'entreprise doit être un lieu de création et d'apprentissage et que nous ne sommes plus payés pour « produire des pièces » mais pour améliorer les processus qui « produisent des pièces ». C'est peut-être là que se situe le vrai défi des entreprises occidentales face à la concurrence des pays à bas coûts salariaux.

Au-delà d'une exploration des différentes dimensions de la Gestion de Production et de sa mise en œuvre, l'ouvrage de Chantal, Alain et Maurice nous propose aussi des clés pour comprendre et aborder les défis de demain.

Bonne lecture donc et rendez-vous au plus tard dans dix ans !

*Pierre-Marie GALLOIS - CFPIM
Président du Groupe PROCONSEIL
Professeur Affilié ESCP-EAP*

Sommaire

Chapitre 1

Introduction

1. L'évolution de la compétitivité de l'entreprise	1
2. Le contexte de la nouvelle gestion de production	4
3. La gestion de production et les flux	5
4. Gestion de production et aspect financier	6
5. Place de la gestion de production dans l'entreprise	10
6. Gestion de production et aspect humain	13
7. Conclusion	14

Chapitre 2

L'implantation des moyens de production

1. Typologie de production	18
1.1 Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité	18
1.2 Classification selon l'organisation du flux de production.....	19
1.2.1 <i>Production en continu</i>	19
1.2.2 <i>Production en discontinu</i>	20
1.2.3 <i>Production par projet</i>	21
1.2.4 <i>Comparaison type continu et discontinu</i>	22
1.3 Classification selon la relation avec le client.....	24
1.3.1 <i>Vente sur stock</i>	25
1.3.2 <i>Production à la commande</i>	25
1.3.3 <i>Assemblage à la commande</i>	25
1.3.4 <i>Comparaison sur stock à la commande</i>	25
2. Les différentes organisations de la production	26
2.1 Implantation en sections homogènes.....	26
2.2 Implantation en lignes de fabrication.....	27
2.3 Implantation en cellules de fabrication.....	28
3. Conception d'une unité moderne de production	30
3.1 Les principes de base	30
3.2 Les problèmes des implantations en sections homogènes	30
3.3 La séparation des usines	32
3.4 La séparation géographique des fabrications de produits différents.....	33
3.5 La décentralisation des activités de stockage et d'expédition.....	34
3.6 Le dédoublement de certaines machines.....	35
4. Les méthodes d'analyse	36
4.1 Les documents à réunir	36
4.2 Le graphique de circulation.....	37
4.3 Le schéma opératoire.....	38
4.4 Analyse de déroulement.....	40
4.5 Le plan coloré.....	40
5. Les méthodes de résolution	41
5.1 La logique et les méthodes.....	41
5.2 Recherche des îlots de production.....	42
5.2.1 <i>Méthode de Kuziack</i>	42
5.2.2 <i>Méthode de King</i>	45

5.3	Méthode de mise en ligne	48
5.3.1	<i>Méthode des antériorités</i>	48
5.3.2	<i>Méthode des rangs moyens</i>	51
5.4	Optimisation – Méthode des chaînons.....	52
6.	Technologie de groupe	59
6.1	Pourquoi la technologie de groupe.....	59
6.2	Systèmes de classification.....	61
7.	Conclusion	64

Chapitre 3

La prévision de la demande

1.	Objectifs et contraintes de la prévision de la demande	65
1.1	Objectif de la prévision de la demande	66
1.2	Les éléments du choix	69
1.3	Les sources de données	70
1.4	Typologie de la demande	70
2.	Les méthodes de prévision	71
2.1	Généralités sur les méthodes de prévision.....	71
2.2	Les méthodes qualitatives.....	72
2.3	Les méthodes quantitatives.....	73
2.3.1	<i>Représentation graphique</i>	73
2.3.2	<i>Méthode de décomposition</i>	74
2.3.3	<i>Méthode des moyennes mobiles</i>	79
2.3.4	<i>Méthodes de lissage exponentiel</i>	82
2.3.5	<i>Autres modèles mathématiques</i>	84
3.	Erreurs et incertitude sur les prévisions	85
4.	Conclusion	88

Chapitre 4

Les méthodes de gestion de projets

1.	Introduction	91
1.1	Fonctions de la gestion de projet.....	92
1.2	But de la gestion de projet.....	93
2.	La méthode Gantt	93
2.1	Présentation de la technique Gantt.....	94
2.1.1	<i>Critère de représentation classique du Gantt</i>	95

2.1.2	<i>Modes de gestion des priorités dans un Gantt</i>	95
2.1.3	<i>Flottement, jalonnement et chevauchement</i>	96
2.2	Utilisation industrielle du Gantt	103
2.3	Conclusion	104
3.	La méthode PERT	104
3.1	Généralités	104
3.2	Présentation de la méthode PERT	105
3.2.1	<i>La méthode de construction du PERT</i>	105
3.2.2	<i>Précisions concernant la représentation graphique</i>	106
3.2.3	<i>Les étapes de la construction du PERT</i>	108
3.3	La notion de multi-PERT	114
3.3.1	<i>Les réseaux à sections multiples</i>	114
3.3.2	<i>Les réseaux à niveaux multiples</i>	115
3.4	Le PERT-coût ou PERT-cost	116
4.	Conclusion	118

Chapitre 5

La gestion des stocks traditionnelle

1.	Le problème de la gestion des stocks	119
1.1	Introduction	119
1.2	Différents types de stocks	120
1.3	Objectif de la gestion des stocks	122
1.4	Optimisation du niveau du stock	122
2.	Classification des stocks	124
2.1	Nécessité d'un classement	124
2.2	Classement ABC	124
2.2.1	<i>Principe du classement ABC</i>	124
2.2.2	<i>Étude de la méthode sur un exemple d'école</i>	125
2.3	Classement ABC adapté	129
2.3.1	<i>Classement combiné articles/clients</i>	129
2.3.2	<i>Classement introduisant des catégories supplémentaires</i>	130
3.	Les opérations de gestion des stocks	130
3.1	Le magasinage	130
3.2	La gestion des entrées/sorties	131
3.3	Les inventaires	132
4.	Quantités économiques	133

4.1	Position du problème et définitions.....	133
4.1.1	Calcul du coût de stockage <i>S</i>	133
4.1.2	Calcul du coût d'une commande ou d'un lancement <i>L</i>	134
4.2	Minimisation du coût total <i>C</i>	134
4.3	Cas des remises	137
4.4	Coût économique et zone économique.....	139
5.	Méthodes de réapprovisionnement	141
5.1	Introduction	141
5.2	Méthode du réapprovisionnement fixe (période et quantité fixes)....	142
5.3	La méthode du reemplètement périodique (dates fixes, quantités variables)	142
5.4	Méthode du point de commande (quantités fixes, dates variables)...	144
5.4.1	Le point de commande	144
5.4.2	Calcul du stock de sécurité	148
5.5	Approvisionnement par dates et quantités variables.....	152
6.	Domaine d'application des méthodes traditionnelles de gestion des stocks	153
6.1	Les limites de la gestion des stocks traditionnelle.....	153
6.2	Les domaines d'application	155
7.	Les unités de stockage	155
7.1	Les différentes zones d'un lieu de stockage.....	155
7.2	Les principaux systèmes de stockage.....	158
8.	Conclusion	162

Chapitre 6

Fonctions, documents et données techniques

1.	Introduction	163
2.	Fonctions et documents	165
2.1	Fonction Études et documents techniques.....	165
2.1.1	Généralités	165
2.1.2	Documents en entrée	166
2.1.3	Documents en sortie	166
2.2	Fonction Méthodes et documents techniques.....	167
2.2.1	Généralités	167
2.2.2	Documents en entrée	168
2.2.3	Documents en sortie	168
2.3	Fonction Gestion de production et documents techniques.....	169
3.	Généralités sur les données techniques	169

4. Articles	170
4.1 Définitions.....	170
4.2 Données Articles.....	171
5. Codification des articles	174
5.1 Besoin de codification.....	174
5.2 Qualités d'un système de codification.....	174
5.3 Quelques exemples connus de codification.....	175
5.3.1 <i>Code Insee</i>	175
5.3.2 <i>Code des départements français</i>	176
5.3.3 <i>Code des pays</i>	176
5.3.4 <i>Code EAN 13</i>	176
5.4 Différents types de systèmes de codification.....	177
5.4.1 <i>Codification significative ou analytique</i>	177
5.4.2 <i>Codification non significative</i>	178
5.4.3 <i>Codification mixte</i>	178
5.5 Prévention et détection des erreurs.....	179
5.6 Code Article et documentation.....	180
5.7 Règles d'interchangeabilité des articles.....	181
6. Nomenclatures	181
6.1 Définitions.....	181
6.2 Structure des produits et nomenclatures.....	186
6.3 Différentes nomenclatures.....	188
6.4 Représentation des nomenclatures.....	190
6.5 Données des nomenclatures.....	192
7. Postes de charge	193
7.1 Définitions.....	193
7.2 Données des postes de charge.....	194
7.3 Outillages.....	196
8. Gammes	196
8.1 Définitions.....	196
8.2 Données des gammes.....	197
9. Autres données techniques	200
9.1 Données relatives à l'environnement.....	200
9.2 Données d'activité.....	200
9.3 Données historiques.....	201
10. Qualité des données techniques	202
11. Conclusion	203

Chapitre 7

Management des ressources de la production (MRP2)

1. Gestion des stocks et MRP2	205
1.1 Limites des méthodes traditionnelles de gestion des stocks	205
1.2 Schéma global de MRP2	206
1.3 Principe d'Orlicky	208
2. Le calcul des besoins nets (CBN)	209
2.1 Généralités	209
2.2 Échéancier du calcul des besoins	210
2.3 Mécanisme du calcul des besoins	212
2.3.1 Logique du calcul des besoins	212
2.3.2 Premier exemple de calcul des besoins	214
2.3.3 Deuxième exemple de calcul des besoins (2 composés, 1 composant)	218
2.3.4 Troisième exemple (règle du plus bas niveau)	219
2.4 Les différents types d'ordres	221
2.5 Les messages du calcul des besoins	222
2.6 Stocks de sécurité	223
3. Le plan industriel et commercial (PIC)	224
3.1 Définition et objectif du PIC	224
3.2 Établissement du PIC	225
3.3 Exemple de PIC	227
3.4 Calcul global de charge au niveau du PIC	229
4. Le programme directeur de production (PDP)	232
4.1 Définition et objectif du PDP	232
4.2 L'échéancier du PDP	233
4.3 Exemple de PDP	236
4.4 Calcul des charges globales et réalisme du PDP	238
4.5 La mesure des performances du PDP	239
5. Les charges détaillées	239
6. La gestion d'atelier	242
6.1 Définition	242
6.2 Activités lors de l'exécution	243
6.2.1 Vérification et lancement	243
6.2.2 Programmation détaillée	243
6.2.3 Suivi de production	245

6.2.4	<i>Contrôle et rétroaction</i>	245
6.2.5	<i>Fermeture de l'ordre</i>	246
6.3	Conditions de bon fonctionnement	247
6.3.1	<i>Principes de base</i>	247
6.3.2	<i>Qualités du système de planification</i>	247
6.3.3	<i>La base de données</i>	248
6.3.4	<i>L'interface</i>	248
6.4	La mesure de performance	248
6.5	Le suivi des flux	248
7.	Exemple de synthèse	250
7.1	Plan industriel et commercial	250
7.2	Charges globales au niveau du PIC	252
7.3	Programme directeur de production	252
7.4	Cohérence entre PIC et PDP	253
7.5	Charges globales au niveau des PDP	254
7.6	Calcul des besoins nets	255
7.7	Calcul des charges détaillées	255
8.	Régulation de MRP2	258
9.	Conclusions	260

Chapitre 8

La méthode Kanban : du Kanban spécifique au Kanban générique

1.	Introduction	263
2.	La méthode du Kanban spécifique	265
2.1	Description d'un système Kanban spécifique	265
2.2	La gestion des priorités en Kanban spécifique	267
2.3	Caractéristiques des étiquettes Kanban spécifiques	272
2.4	Du Kanban spécifique à étiquettes au Kanban spécifique à emplacements	272
2.5	Dimensionnement d'un système Kanban	275
2.5.1	<i>À propos de la taille d'un container</i>	275
2.5.2	<i>À propos du nombre de Kanban</i>	275
3.	La méthode Kanban générique et CONWIP	278
3.1	La méthode CONWIP	278
3.2	Description d'un système Kanban générique	280

3.3 Intérêts de la mise en place d'un système Kanban générique.....	282
3.4 Limites de la mise en place d'un système Kanban générique	283
4. Conditions de réussite de la mise en place d'un système Kanban, spécifique ou générique	284
5. Mise en place d'un système Kanban	285
5.1 Avantages du système	285
5.2 La convivialité MRP-Kanban.....	287
6. Conclusion	288

Chapitre 9

La gestion d'atelier par les contraintes

1. Introduction	291
2. Les contraintes et le pilotage de l'atelier	293
2.1 Quelques remarques préalables	293
2.2 Équilibre des capacités, équilibre du flux.....	294
2.3 Niveau d'utilisation d'un poste non-goulet	294
2.4 Utilisation des goulets et fonctionnement du système de production	297
2.5 Les autres axes du pilotage des ateliers par les contraintes.....	300
2.5.1 <i>La notion de lot de transfert, la notion de lot de fabrication</i>	300
2.5.2 <i>La détermination des tailles de lots de fabrication dans une gestion par les contraintes</i>	302
2.5.3 <i>La détermination des délais de fabrication</i>	303
2.6 La gestion de l'entreprise	304
3. Mise en œuvre de la gestion d'atelier par les contraintes	305
3.1 Les étapes préalables.....	305
3.1.1 <i>La formation du personnel</i>	305
3.1.2 <i>Les actions de progrès</i>	305
3.2 La détection des goulets.....	306
3.3 Le pilotage de l'atelier par les contraintes.....	308
4. Conclusion	309

Chapitre 10

Du juste-à-temps au *Lean Management* et à Six sigma

1. Introduction	311
1.1 Historique du <i>Lean Management</i>	311
1.2 Principes de base du <i>Lean Management</i>	313
1.2.1 <i>La suppression des gaspillages</i>	314
1.2.2 <i>Une production en flux tendus</i>	316
1.2.3 <i>La réduction des cycles de développement des produits</i>	319
1.2.4 <i>Une attitude prospective vis-à-vis de ses clients</i>	321
1.2.5 <i>Gestion de la qualité</i>	323
2. Les outils du <i>Lean Management</i>	328
2.1 La cartographie du processus	329
2.2 Amélioration des temps de changements de séries	
– Méthode SMED	331
2.2.1 <i>Introduction</i>	332
2.2.2 <i>La méthode</i>	332
2.2.3 <i>Conclusion</i>	335
2.3 TPM – <i>Total Productive Maintenance</i>	336
2.3.1 <i>Le TRS, une mesure de la performance du poste de travail</i>	336
2.3.2 <i>Le problème</i>	338
2.3.3 <i>Diminution du taux de panne</i>	338
2.4 La maîtrise de la qualité des processus	341
2.4.1 <i>Aspect statique de la maîtrise des processus</i>	342
2.4.2 <i>Aspect dynamique de la maîtrise des processus</i>	343
2.5 Les 5 S	344
2.6 Relations avec les fournisseurs et les sous-traitants	349
2.6.1 <i>Les problèmes</i>	349
2.6.2 <i>Les nouvelles relations avec les fournisseurs</i>	350
3. Les changements de culture liés au <i>Lean Management</i>	352
3.1 La problématique du changement	352
3.2 Les facteurs du changement	353
3.2.1 <i>La communication</i>	353
3.2.2 <i>La formation</i>	353
3.2.3 <i>La motivation</i>	354
3.2.4 <i>Communication, formation, motivation, comment faire ?</i>	355
4. Conclusion	356

Chapitre 11

La mesure de la performance du système de production

1. Les limites des systèmes de mesure traditionnelle	357
1.1 Introduction	357
1.2 Inefficacité du système traditionnel au niveau du pilotage de la production	358
1.3 Performance industrielle et évaluation financière.....	359
2. Les indicateurs de performance	361
2.1 Quelques définitions	361
2.2 Indicateurs de résultat et indicateurs de processus.....	362
2.3 Construction d'un système d'indicateurs de mesure et de pilotage...	363
2.4 Caractéristiques essentielles des indicateurs de performance	369
2.5 Mise en place des indicateurs de performance.....	371
3. Conclusion	373

Chapitre 12

La *supply chain*

1. Introduction	375
1.1 Généralités	375
1.2 De la logistique à la <i>supply chain</i>	378
2. Comment définir la <i>supply chain</i> ou « chaîne logistique intégrée et étendue » ?	379
2.1 Le concept de logistique.....	379
2.2 Le concept de <i>supply chain</i> , chaîne logistique globale.....	381
3. <i>Supply chain</i> et processus	382
3.1 Processus et approche théorique.....	383
3.2 Processus et approche pratique	384
4. Le fonctionnement de la <i>supply chain</i>	389
4.1 Le point de départ de la <i>supply chain</i> : le client final.....	389
4.2 La planification et la programmation dans la <i>supply chain</i>	390
4.3 <i>Supply chain</i> et mutation des systèmes d'information	392
4.4 <i>Supply chain</i> et informations de gestion.....	393
5. Les conséquences de ce mode de fonctionnement	395
5.1 La virtualisation des entreprises.....	396

5.2 Les obstacles rencontrés	397
5.2.1 Les clivages internes	397
5.2.2 Les clivages externes	397
5.2.3 La prédominance de l'opérationnel	398
5.2.4 L'absence d'un véritable système de mesure	398
5.2.5 La peur d'un changement radical de l'organisation	398
6. Conclusion	398

Chapitre 13

Gestion de production et système d'information

1. L'évolution de l'offre logicielle	401
1.1 Introduction	401
1.2 Rôle et limites de l'informatique	402
1.3 Domaines d'application en gestion industrielle	403
1.4 Retour sur l'offre traditionnelle	403
1.5 L'évolution par l'intégration	406
2. Les ERP (<i>Enterprise Resources Planning</i>)	407
2.1 Définition	407
2.2 Fonctionnalités et modularité	408
2.3 Nature de l'intégration	409
2.4 Mise en place et marché des ERP	412
3. Les MES (<i>Manufacturing Execution System</i>)	413
3.1 Définition	413
3.2 Fonctionnalités	413
3.3 L'offre du marché	415
4. Les APS (<i>Advanced Planning and Scheduling</i>)	416
4.1 Définition	416
4.2 Fonctionnalités	416
4.3 Le marché des APS	417
5. Les SGDT (Systèmes de gestion des données techniques)	418
5.1 Définition	418
5.2 Fonctionnalités d'un SGDT	419
6. Conclusion	420

Chapitre 14

Mise en œuvre d'un projet de gestion industrielle

1. Introduction	421
2. Les clés de la réussite	422
2.1 Règles fondamentales.....	422
2.2 Rôle de la direction.....	424
2.3 Le chef de projet et l'aspect humain	424
2.4 Le suivi du projet.....	425
2.5 Le calendrier du projet.....	426
2.6 L'aspect financier.....	428
3. La démarche de projet GP	429
3.1 Introduction.....	429
3.2 Phase diagnostic et analyse.....	430
3.3 Phase de choix et structuration du système d'information	431
3.4 Phase de choix du progiciel et mise en place du nouveau système de gestion industrielle.....	432
3.4.1 <i>Choix d'un progiciel</i>	432
3.4.2 <i>Mise à niveau des données techniques</i>	435
3.4.3 <i>Mise en place</i>	435
3.5 Phase d'exploitation.....	436
4. Conclusion	437
Bibliographie	439
Index	447

Chapitre 1

Introduction

1. L'évolution de la compétitivité de l'entreprise

De tous temps, les entreprises ont dû gérer leurs productions pour imposer leur efficacité. Ainsi, le rôle de la gestion de production est aussi ancien que l'entreprise elle-même. On peut dater les premières réelles expériences en matière de gestion de la production au moment de la réalisation des premières pyramides égyptiennes. Ces grands chantiers ont suscité les premières réflexions dans le domaine des approvisionnements, des ressources humaines mais aussi de la standardisation des tâches.

Aujourd'hui, la perception de la gestion de la production a bien sûr beaucoup évolué. La gestion de la production se place au cœur de la stratégie de l'entreprise. Pourquoi cela ? La réponse à cette question réside dans l'évolution des conditions de la compétitivité économique.

Depuis un passé récent (le milieu du xx^e siècle pour fixer les idées), on peut distinguer trois phases d'évolution dans l'environnement de l'entreprise. Selon son secteur d'activité, l'enchaînement de ces trois phases dans le temps peut être différent.

La première phase représente une période de forte croissance avec un marché porteur, des marges confortables et une offre de biens inférieure à la demande. Il s'agit pour l'entreprise d'une période de sérénité où les fonctions essentielles sont techniques et industrielles. Il faut alors *produire puis vendre*. Voici les principales caractéristiques de la production : quantités économiques de production, stocks tampons entre les postes de travail, fabrication en série, délais fixés par le cycle de production, gestion manuelle.

Lorsque l'offre et la demande s'équilibrent, nous atteignons une deuxième phase où le client a le choix du fournisseur. Pour l'entreprise, il faut alors *produire ce qui sera vendu*. Il devient alors nécessaire de faire des prévisions commerciales, de maîtriser l'activité de production, d'organiser les approvisionnements, de réguler les stocks et de fixer les échéances.

Très rapidement, on passe à la phase suivante où l'offre excédentaire crée une concurrence sévère entre les entreprises face à un client qui devient exigeant. Cette compétitivité contraint l'entreprise à :

- la maîtrise des coûts ;
- une qualité irréprochable ;
- des délais de livraison courts et fiables ;
- de petites séries de produits personnalisés ;
- un renouvellement des produits dont la durée de vie s'est raccourcie ;
- l'adaptabilité par rapport à l'évolution de la conception des produits et des techniques de fabrication...

L'entreprise tend désormais à *produire ce qui est déjà vendu*. Nous voyons apparaître des soucis de stratégie industrielle et de contrôle précis de la gestion. De plus, on y décèle des contradictions (prix-qualité, prix-petites séries...) qui nécessiteront des arbitrages pour obtenir une cohérence globale.

La phase que nous venons de décrire, dans laquelle se reconnaissent encore beaucoup d'entreprises, est sur le point d'être dépassée pour de nombreuses raisons. Le challenge des années 2000 s'oriente vers des logiques beaucoup plus globales de réflexion inter-entreprises, voire inter-groupes. En effet, face à la situation actuelle qui impose une qualité encore meilleure, des délais toujours plus courts, une fiabilité accentuée, des prix toujours plus bas, un temps de réponse au marché sans cesse amélioré, les entreprises se sont interrogées sur les progrès qu'elles pouvaient encore réaliser. Les démarches juste-à-temps, qualité totale et *Lean Production* permettent aux entreprises d'améliorer leurs processus de production internes, parfois leurs processus d'approvisionnements directs et leurs processus de distribution directs. La mise en place et la pratique généralisée de ces démarches ne vont plus suffire. Il faudra aller encore plus loin.

Demain, la problématique va s'orienter vers une amélioration globale, du « fournisseur du fournisseur du fournisseur »... jusqu'au « client du client du client »... en d'autres termes, du premier fournisseur dans le processus de réalisation du produit jusqu'au client ultime : le consommateur du produit. C'est ce qu'on appelle la logique *supply chain* ou plus précisément chaîne logistique intégrée, chaîne logistique étendue.

Cette démarche a pour objectif de travailler non seulement au niveau des maillons de la chaîne mais aussi et surtout au niveau des connexions entre ces divers maillons, pour optimiser la chaîne logistique.

Cette évolution est rendue possible par de nombreuses transformations aussi bien au niveau des systèmes d'information qu'au niveau des infrastructures ou des systèmes de transports rapides. La révolution que représentent les réseaux Internet ou intranet, les EDI (Échanges de données informatisées), la création des logiciels de type ERP (*Enterprise Resources Planning*), permettent de communiquer de plus en plus vite, de plus en plus loin, en échangeant une grande quantité d'informations. Parallèlement, avec le développement des infrastructures routières, autoroutières, couloirs aériens, on peut déplacer les produits de plus en plus loin et de plus en plus vite... Il devient donc possible de créer de vraies *supply chain* efficaces.

La démarche *supply chain* consiste à mettre en œuvre une démarche de gestion globale basée sur l'apport de *valeur* à un produit depuis la production de matières premières jusqu'à la distribution. L'objectif recherché est de trouver un moyen de travailler véritablement et efficacement ensemble et, dans cette optique, le développement des techniques de communication s'est révélé un élément clé.

La *supply chain* va imposer la synchronisation des flux physiques, des flux financiers et des flux d'informations, ce qui va entraîner des transformations à tous les niveaux dans les entreprises concernées et cela ne va pas se faire sans difficultés.

Les obstacles rencontrés peuvent être de différentes natures : refus de transfert de pouvoir d'une entreprise à l'autre, refus de transfert de fonctions d'une entreprise à l'autre, peur d'un changement radical dans l'organisation...

Ce sont les projets de type chaîne logistique que les grands groupes internationaux mettent aujourd'hui majoritairement en œuvre pour assurer leur pérennité.

2. Le contexte de la nouvelle gestion de production

Qu'on soit intégré dans un projet de type *supply chain* ou non, l'objectif « Produire ce qui est déjà vendu » reste l'objectif dominant.

Pour y parvenir l'entreprise se doit d'être au moins *réactive* voire *proactive*.

Être réactive, cela signifie être capable de s'adapter très vite et en permanence aux besoins en produits de plus en plus variés, d'un marché mondial et fortement concurrentiel.

Être proactive, cela signifie avoir la capacité d'influencer l'évolution du marché, donc d'y introduire des produits nouveaux avant les concurrents.

Pour cela, l'entreprise doit organiser sa production de manière à fabriquer des produits de qualité, avec une grande diversité et au plus juste coût.

L'entreprise doit chercher dans le cadre de sa gestion de production à *passer d'une logique de charges à une logique de flux*.

Il est alors nécessaire de chercher à transformer des activités apparemment indépendantes en un processus continu en supprimant progressivement les opérations non génératrices de valeur utile pour le client (opérations de transport, de stockage...).

Il est aussi nécessaire de mettre en œuvre un processus continu d'améliorations, ce que les Anglo-Saxons nomment le CIP (pour *Continuous Improvement Process*), et les Japonais le concept de *Kaizen*. Cela consiste à induire une mobilisation constante de l'ensemble des forces de l'entreprise à des fins d'évolutions et de transformations à petits pas.

Dans ce contexte, *le temps* a une importance fondamentale.

Il faut chercher à réduire tous les délais : d'approvisionnement, de fabrication et de livraison. Mais cela n'est pas suffisant ; il faut aussi diminuer les temps de conception-mise à disposition du produit par utilisation de l'ingénierie simultanée, diminuer les temps de circulation et de mise à disposition de l'information, raccourcir les délais de prise de décisions...

Il faut donc vendre, concevoir et produire autrement, et cela nécessite un changement de culture dans l'entreprise et une évolution des comportements de tous.

3. La gestion de production et les flux

Quand on parle de gestion de production dans les entreprises, on fait constamment référence à des notions de flux : implantation en flux, flux poussés, flux tirés, flux tendus, flux logistiques...

La notion de flux est synonyme de mouvement, de circulation, d'évolution, de rapidité et donc d'efficacité.

En gestion de production, on s'intéresse plus particulièrement aux :

- **Flux physiques** : approvisionnement, entrée et circulation des matières premières, des composants, des pièces de rechange, des sous-ensembles ; circulation, sortie et distribution des produits finis.
- **Flux d'information** : suivi des commandes, des ordres de fabrication, suivi des données techniques, suivi des heures de main-d'œuvre, des heures machines, des consommations de matières, des rebuts...

La préoccupation majeure de la gestion de production étant la *satisfaction des clients*, celle-ci se doit de chercher à maîtriser ses flux. Pour cela, elle doit :

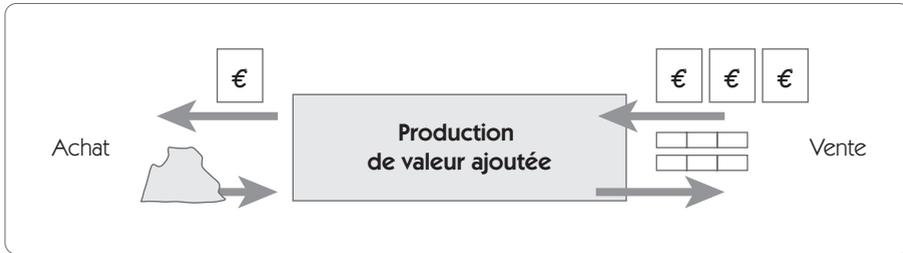
- **Simplifier les flux physiques** en supprimant les opérations non génératrices de valeur vendable au sens valeur utile pour le client (par réimplantation des moyens de production).
- **Fluidifier et accélérer les flux physiques** en évitant les pannes machines, en diminuant les temps de changements de série, en améliorant la qualité des pièces, en développant tant la polyvalence des hommes que le partenariat avec les fournisseurs et les distributeurs, en maîtrisant les flux de transports externes des produits...
- **Créer un système d'informations de gestion de production cohérent et pertinent** par un dialogue et une mise au point pour connaître et répondre aux besoins et aux attentes de chacun.

Maîtriser ses flux physiques et informationnels est, pour une entreprise, l'un des challenges déterminants des années 2000.

4. Gestion de production et aspect financier

En règle générale, chaque société possède des fournisseurs, des clients et apporte une *valeur ajoutée* à son produit.

Figure 1.1 – La production de valeur ajoutée



La valeur ajoutée est le moteur économique de la société, car elle permet :

- la fourniture de produits utiles aux clients ;
- la création de richesses économiques ;
- la distribution de ces richesses au personnel (salaires, intéressement aux résultats), aux fournisseurs (achats), aux collectivités (locales, régionales ou État, sous forme d'impôts, de taxes) et aux actionnaires (dividendes) ;
- le financement du futur de l'entreprise (investissements, recherches et développements...) et la possibilité de faire face à des aléas conjoncturels extérieurs politiques ou économiques (comme un krach boursier).

Quels que soient le système politique et les opinions de chacun, la quête de la pérennité condamne l'entreprise à rechercher un niveau de rentabilité suffisant, compte tenu à la fois de la compétitivité internationale de plus en plus agressive et des exigences croissantes du client.

Au lieu de considérer la relation classique :

$$\text{Coût de revient} + \text{marge bénéficiaire} = \text{prix de vente}$$

Il est préférable de s'appuyer sur la relation suivante :

$$\text{Prix de vente} - \text{coût de revient} = \text{marge bénéficiaire}$$

Voire :

$$\text{Prix de vente} - \text{marge souhaitée} = \text{coût de revient cible}$$

Si ces trois relations sont équivalentes d'un point de vue mathématique, il en va tout autrement au plan de la philosophie de l'entreprise et de sa gestion de production.

La troisième équation fait référence à une méthode qui nous vient du Japon et qui s'appelle le *target costing* ou « coût de revient cible ».

Voici la réflexion que propose cette méthode.

L'entreprise a une marge de manœuvre très limitée au niveau de la fixation de son prix de vente produit, celui-ci étant quasi imposé par le marché. Par ailleurs, si l'entreprise veut assurer sa pérennité, elle se doit de réaliser une certaine marge sur le produit pour pouvoir assurer ses investissements futurs, son développement.

Cela signifie donc que si l'entreprise veut continuer à exister elle doit supporter un coût de revient au maximum égal au coût de revient cible. Si ce n'est pas le cas, elle se doit de réfléchir à toutes les améliorations qu'elle peut réaliser pour rester dans l'enveloppe définie par le coût de revient cible. Toutes les améliorations, c'est-à-dire tout ce qui est possible à tous les niveaux : conception, industrialisation, approvisionnements, distribution, production, logistique, qualité...

Au niveau de la gestion de la production, où peut-elle intervenir ?

Illustrons notre propos par une petite histoire : un inventeur génial veut créer une entreprise pour exploiter son brevet révolutionnaire. Il convainc son banquier de lui fournir un capital de départ afin d'acheter machines et matières premières nécessaires à la fabrication de ses premiers produits. Avant de réaliser les premières ventes, il s'écoule un certain temps... Les intérêts de la somme empruntée courent ! Bientôt tout de même, ces produits sont vendus mais... le client les lui paie « 60 jours fin de mois »... les intérêts courent toujours ! Au final, cela peut être tragique car les intérêts ont mangé une grosse part des bénéfices escomptés !

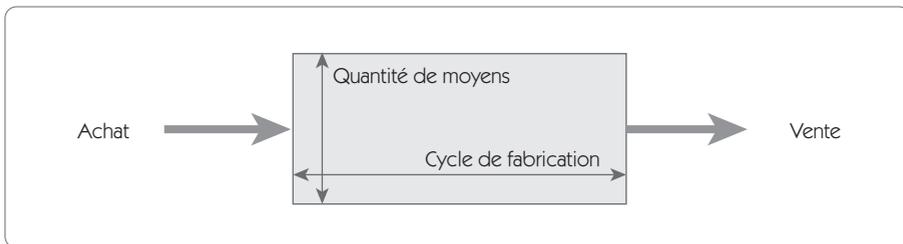
Cette histoire caricaturale montre que l'aspect financier est un problème à deux dimensions. En effet, les moyens financiers dépendent de :

- la quantité des moyens mis en place pour assurer la production (investissements, fonds de roulement) ;

- la durée du cycle de fabrication et d'utilisation des moyens (facteur temps).

Nous schématiserons ainsi le flux financier de l'entreprise :

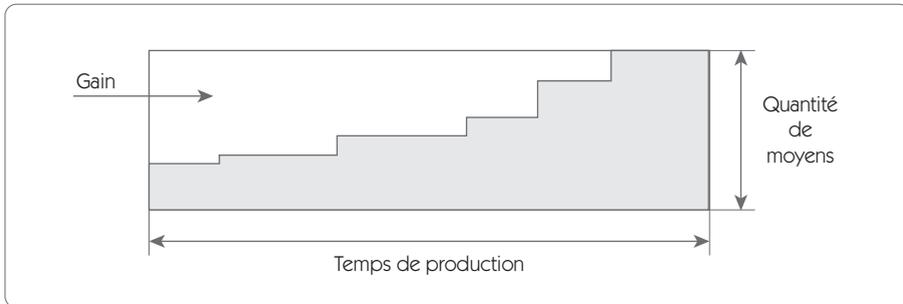
Figure 1.2 – Les deux composantes des moyens financiers



La gestion de production va agir sur ces deux paramètres par :

- la diminution des stocks et en-cours, par différents moyens (fiabilisation de la demande et des approvisionnements, recherche d'une meilleure fiabilité des moyens de production, responsabilisation des personnes...) et différentes méthodes de gestion (MRP, Kanban...);
- l'enchaînement des opérations par une meilleure implantation des moyens de production et un meilleur ordonnancement-lancement-suivi de production...
- la diminution des tailles de lots de fabrication et des temps de changement de séries;
- l'amélioration de la chaîne logistique qui part des fournisseurs pour aller jusqu'à la livraison aux clients.

Afin de réduire la surface quantité multipliée par durée, il est souhaitable de ne commander les produits nécessaires qu'au moment où on en a besoin (figure 1.3) :

Figure 1.3 – Approvisionnement selon le besoin

Mais cette solution n'est pas sans risque car, dans le cas d'un manquant, c'est l'ensemble de la production qui sera retardée. Ainsi, commander au plus tard est un jeu délicat qui peut être dangereux pour l'entreprise car l'espérance d'un petit gain peut générer une perte bien plus importante si on ne maîtrise pas totalement les paramètres de production.

Quoi qu'il en soit, tous ces éléments d'amélioration vont permettre à l'entreprise de diminuer son coût de revient et d'entrer dans l'enveloppe du coût de revient cible. Si ce n'est pas le cas, le produit concerné ne verra pas le jour, sauf pour des raisons stratégiques qui donnent la possibilité à l'entreprise de perdre de l'argent sur certains produits de sa gamme.

5. Place de la gestion de production dans l'entreprise

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.

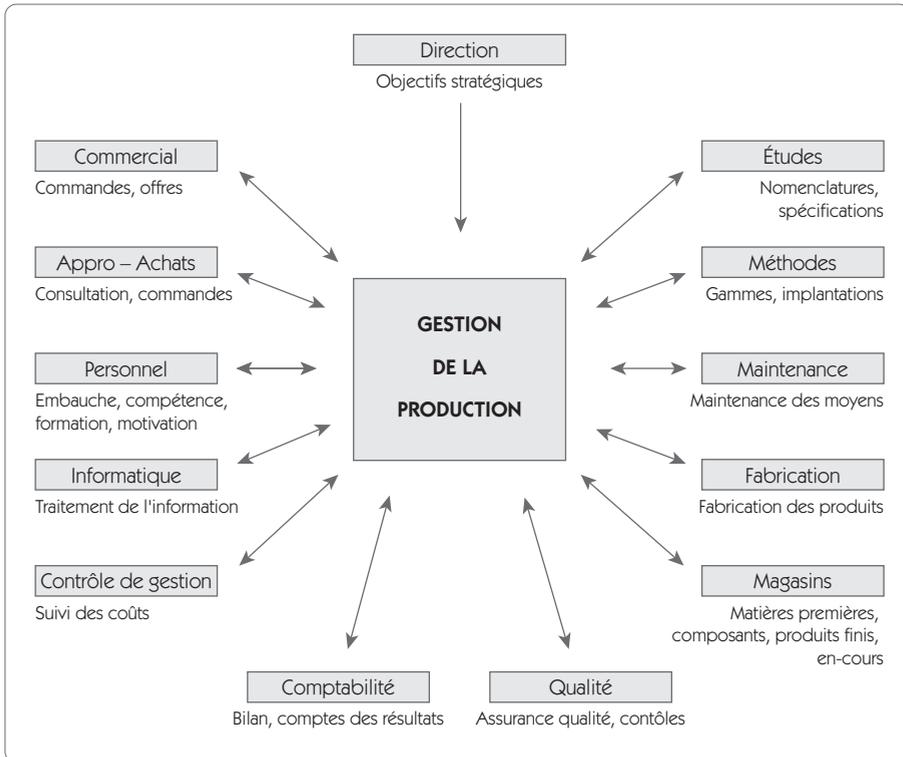
Contraintes de prix

- 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.

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.

Nous schématiserons sa position vis-à-vis des diverses fonctions au moyen de la figure suivante :

Figure 1.4
La gestion de production et les autres fonctions de l'entreprise



Une solution tout à fait actuelle, face aux risques de dispersion, consiste à rassembler dans une même direction, appelée logistique, toutes les fonctions qui concourent directement à la maîtrise des flux se rapportant aux matières (gestion des commandes, élaboration du programme de production, ordonnancement, lancement, approvisionnements, achats, tenue des différents stocks, manutention et transport, expédition). Elle entraîne une simplification des grands objectifs de l'entreprise : ventes, recherche et développement, production, efficacité et performance de l'utilisation des moyens.

6. Gestion de production et aspect humain

L'influence technologique est dominante dans la fonction production mais le facteur humain dont dépendra toute la réussite du projet d'entreprise reste fondamental. Il intéresse au premier chef le gestionnaire de production, au carrefour de multiples informations et instructions, qu'il reçoit et qu'il communique à de nombreux utilisateurs.

Le système de production ne fonctionnera correctement qu'en s'appuyant sur des informations rapides et fiables, un respect rigoureux des consignes et procédures, des initiatives et réactions individuelles en cas d'anomalie ou d'écart par rapport à la prévision. En d'autres termes, la gestion de la production ne peut jamais être l'affaire exclusive de quelques experts mais, au contraire, elle a besoin de la participation active de nombreuses personnes placées dans la plupart des secteurs de l'entreprise.

Cette collaboration effective ne peut pas être obtenue dans un contexte de mauvais fonctionnement des relations de travail, quelles qu'en soient les causes : climat social, ambiance, structure et organisation du travail. Aussi la gestion de production doit-elle impérativement être mise en œuvre par des personnes motivées, réactives, responsabilisées et formées. C'est aujourd'hui une nécessité pour toutes les entreprises à la recherche de l'excellence industrielle face à la vive compétition internationale.

L'organisation classique de la production était fondée sur la division du travail, la spécialisation des tâches, la centralisation des responsabilités et la hiérarchisation des compétences. Cette production de masse parcellisée fait place, chaque jour davantage, à des structures plus souples en petites équipes, ou à des individus, réalisant des tâches plus complexes et moins répétitives. Cette restructuration du travail implique une polyvalence et une polytechnicité accrues nécessitant la formation du personnel. Le rôle de la hiérarchie tend à évoluer vers plus d'animation et de conseil, dans le but d'accroître la motivation de l'ensemble du personnel, visant donc à améliorer productivité, qualité, sécurité...

7. Conclusion

Quel que soit son secteur d'activité (mécanique, plastique, alimentaire, bois...), l'entreprise a besoin d'une gestion de production résolument moderne et efficace qui se traduit tant par la mise en œuvre de nouveaux principes de gestion de production, l'implication, la formation des acteurs de l'entreprise que par la mise en œuvre de technologies.

En essayant de hiérarchiser la démarche d'évolution de la gestion de production, on peut dire que l'on doit :

1. se fixer une stratégie d'excellence industrielle ;
2. en déduire les principes de gestion (tension des flux, qualité totale, planification) ;
3. définir les méthodes appropriées (MRP2, Kanban...) ;
4. définir les outils appropriés (SMED, SPC...).

Ces quatre axes de travail doivent découler les uns des autres et être cohérents entre eux, ce qui n'est pas simple à réaliser.

Ils doivent par ailleurs s'intégrer dans la stratégie globale de l'entreprise qui impose généralement, avant tout, la satisfaction des clients, clients intermédiaires et client final. Cela se traduit par :

- de bons produits,
- une bonne organisation de la production,
- un bon système de fabrication,
- une bonne gestion,
- une bonne fonction commerciale.

Nous venons de définir les points clés du fonctionnement de l'entreprise. Faisons fi de ces années où les commerciaux pestaient contre l'incompétence des techniciens qui eux-mêmes accusaient les mauvais fournisseurs et les mauvais commerciaux, qui eux-mêmes parlaient d'exigences excessives au niveau des clients...

Cet ouvrage n'a d'autre objet que de donner une idée générale de la fonction gestion de production en présentant les bases des méthodes et techniques qui y sont actuellement rencontrées, et surtout de faire

prendre conscience au lecteur de la philosophie générale de l'organisation de la production qui, plus que de techniques ou de recettes, est affaire d'un certain état d'esprit.

Chapitre 2

L'implantation des moyens de production

Gérer une production, cela consiste entre autres choses à organiser les flux physiques de produits au travers de moyens de production. Dans ce chapitre, nous aborderons l'organisation de ces moyens physiques sur la base d'une typologie de production en dissociant les grands types de production. Nous dégagerons les grandes lignes qui doivent guider l'industriel lors de la conception d'une unité moderne de production. Enfin, après avoir décrit les moyens d'analyse d'un système de production, nous étudierons les méthodes de résolution qui permettent d'améliorer son implantation et, ce faisant, sa réactivité.

1. Typologie de production

Chaque entreprise est unique de par son organisation et la spécificité des produits qu'elle fabrique. Cependant, on peut réaliser une classification des entreprises en fonction des critères suivants :

- quantités fabriquées et répétitivité ;
- organisation des flux de production ;
- relation avec les clients.

Ces critères ne sont bien sûr pas exhaustifs, mais ils permettent de bien cerner le type d'une entreprise. Une typologie de production est fondamentale, car elle conditionne le choix des méthodes de gestion de production qui sont le plus adaptées. Cette analyse est donc un préalable indispensable à tout projet de mise en place ou de restructuration d'une gestion de production. En fait, toute entreprise est une juxtaposition des différents types que nous décrirons et sera amenée à mettre en place divers modèles d'implantation pour les différents flux.

1.1 Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité

La première différence notable entre les entreprises a trait bien sûr à l'importance des productions. Les quantités lancées peuvent être :

- en production unitaire ;
- en production par petites séries ;
- en production par moyennes séries ;
- en production par grandes séries.

Notons que les nombres liés aux notions de petit, moyen et grand sont sensiblement différents selon le produit concerné. Pour fixer les idées, indiquons un ordre de grandeur moyen : 100 pour les petites séries, 1 000 pour les moyennes et 100 000 pour les grandes.

Pour chacune de ces quantités, lesancements peuvent être répétitifs ou non, ce qui agira également sur la typologie de l'entreprise.

On peut donc établir le tableau croisé suivant :

Figure 2.1 – Classification Quantité/Répétitivité

	Lancements répétitifs	Lancements non répétitifs
Production unitaire	Moteur de fusée Pompes destinées au nucléaire	Travaux publics Moules pour presses
Petites et moyennes séries	Outillage Machines outils	Sous-traitance (mécanique électronique) Préséries
Grandes séries	Électroménager Automobile	Journaux Articles de mode

Chacun de ces types de production nécessite un type de gestion particulier, mais aussi de procéder à une implantation adaptée des moyens de production.

1.2 Classification selon l'organisation du flux de production

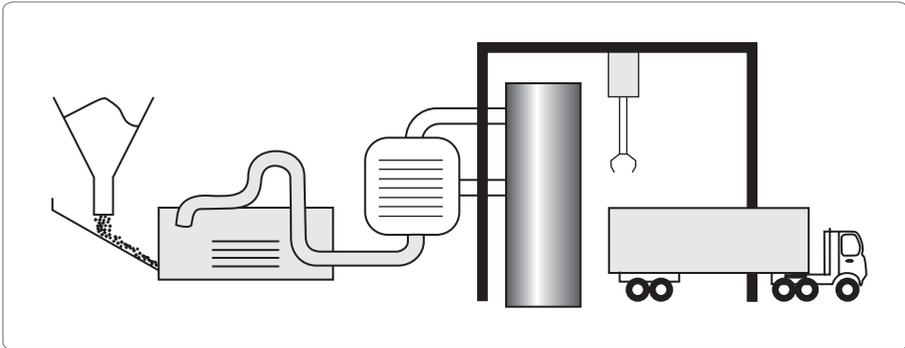
On distingue trois grands types de production, sachant que l'on pourrait trouver de nombreux types intermédiaires :

- production en continu ;
- production en discontinu ;
- production par projet.

1.2.1 Production en continu

Une production en continu est retenue lorsqu'on traite des quantités importantes d'un produit ou d'une famille de produits. L'implantation est réalisée en ligne de production, ce qui rend le flux du produit linéaire. On dit que l'on est en présence d'un atelier à flux que nos collègues anglo-saxons nomment *flow shop*.

Figure 2.2 – Production en continu



Dans ce type de production, les machines ou les installations sont dédiées au produit à fabriquer ce qui, en général, ne permet pas une grande flexibilité. De plus, afin d'éviter de créer des goulets d'étranglement et de fluidifier l'écoulement des produits, l'équilibrage de la production de chacune des machines doit être soigné.

Les industries pétrochimiques, les cimenteries, sont des exemples typiques de ce type d'entreprises. Mais on retrouve également la même organisation dans l'assemblage de produits réalisés en grandes séries, tels que la fabrication de roulements à billes de série ou la fabrication et le conditionnement du Coca-Cola...

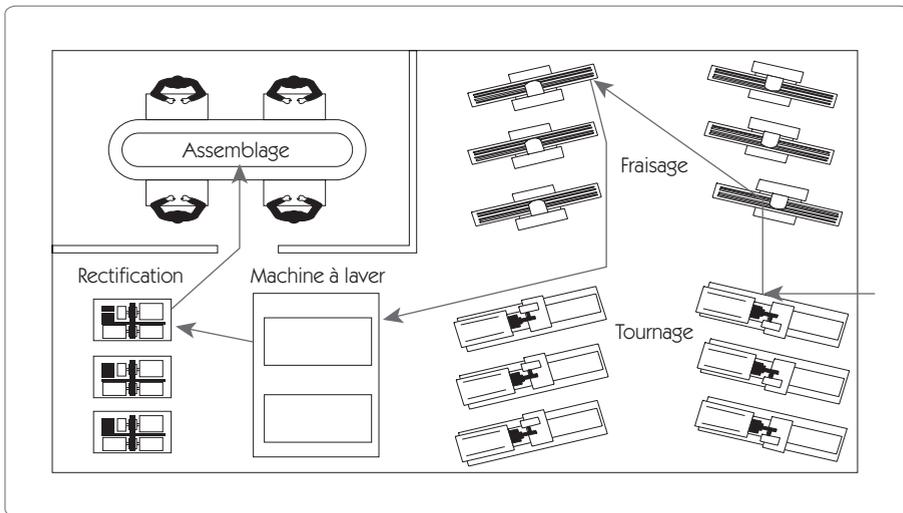
En règle générale, ce type de production est accompagné d'une automatisation poussée des processus de production ainsi que des systèmes de maintenance. Cette automatisation est rendue nécessaire par le besoin d'obtenir des coûts de revient bas, un niveau de qualité élevé et stable, de n'avoir que très peu d'en-cours et d'obtenir une circulation rapide des produits. Elle contraint à procéder à un entretien préventif des machines sous peine de risquer un arrêt total de l'atelier.

1.2.2 Production en discontinu

Une production en discontinu est retenue lorsque l'on traite des quantités relativement faibles de nombreux produits variés, réalisés à partir d'un parc machine à vocation générale (exemple : tours, fraiseuses...).

L'implantation est réalisée par **ateliers fonctionnels** qui regroupent les machines en fonction de la tâche qu'elles exécutent (tournage, fraisage...). Le flux des produits est fonction de l'enchaînement des tâches à réaliser. On dit que l'on est en présence d'un atelier à tâches que nos collègues anglo-saxons nomment *job-shop*.

Figure 2.3 – Production en discontinu



Dans ce type de production, les machines ou les installations sont capables de réaliser un grand nombre de travaux ; elles ne sont pas spécifiques à un produit, ce qui donne une grande flexibilité. Mais il est très difficile d'équilibrer les tâches dans une production en discontinu, ce qui génère en revanche des niveaux de stocks et d'en-cours élevés.

Les industries mécaniques et les entreprises de confection sont des entreprises de ce type.

1.2.3 Production par projet

Dans le cas de la production par projet, le produit est unique. Des exemples en sont l'organisation des Jeux Olympiques ou la construction d'un barrage. Le processus de production y est unique et ne se renouvelle pas. Le principe d'une production par projet consiste donc à

enchaîner toutes les opérations conduisant à l'aboutissement du projet, en minimisant les temps morts afin de livrer le produit avec un délai minimal ou au moment convenu.

Dans ce type de production, on ne peut pas stabiliser de façon formelle une production. Aussi, l'organisation doit être capable de prendre en compte de nombreuses et importantes perturbations extérieures, et de permettre des modifications.

On pourra remarquer que certaines entreprises ont des produits qui, bien que semblables, sont à chaque fois adaptés et spécifiques (fusées, pompes spéciales...). Elles fonctionnent en grande partie par projets.

1.2.4 Comparaison type continu et discontinu

Chaque type de production possède ses avantages et ses inconvénients. Aussi est-il intéressant d'étudier conjointement les deux typologies : continue et discontinue.

On définit un indicateur – le ratio d'efficacité du processus – qui permet de déterminer le rapport entre le temps de présence d'un produit dans le système et le temps pendant lequel une valeur ajoutée a été apportée au produit.

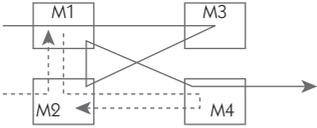
Ratio d'efficacité du processus (parfois appelé ratio de tension des flux) :

$$REP = \frac{\textit{temps de travail effectif}}{\textit{temps total y compris les temps d'attente}}$$

Lorsqu'on observe la figure 2.4, on s'aperçoit qu'il vaut mieux avoir à gérer des processus continus plutôt que des processus discontinus. Ne peut-on pas transformer un processus discontinu en un processus continu ? On peut considérer que la technologie de groupe (voir §6 de ce chapitre) permet d'adopter cette démarche. En voici la démonstration : on recherche, par exemple, à l'intérieur d'un atelier de mécanique (organisation discontinue) toutes les pièces qui ont la même gamme (ou une gamme similaire). On regroupe ensuite les

machines en cellule de production dans laquelle on retrouve une organisation continue. On a bien transformé un processus discontinu en un processus continu.

Figure 2.4 – Comparaison type continu et discontinu

	Type continu	Type discontinu
	Flux linéaire	Flux complexes
Flux des produits		
Efficacité	REP moyen de 80 à 100 %	REP moyen de 5 à 30 %
Flexibilité	Lignes de production rigides	Lignes de production souples
Délais	Faibles	Longs
En-cours	Faibles	Importants

Ce regroupement présente principalement cet avantage d'augmenter le ratio d'efficacité et donc de diminuer les délais et les en-cours. Cependant, le revers de la médaille est constitué par la perte de souplesse introduite en figeant les machines dans la cellule de production.

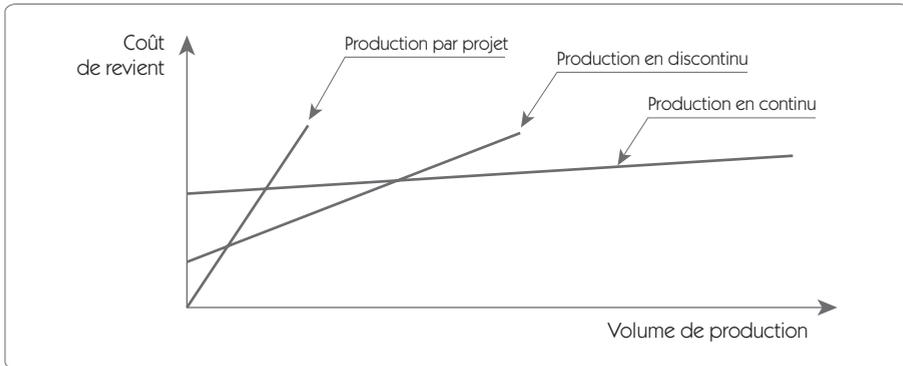
Dans une organisation classique, un tour, par exemple, est capable d'usiner la plupart des pièces tournées de l'atelier. Dans une organisation de type cellule flexible, il devient très difficile de faire exécuter au tour intégré à la cellule des pièces ayant des gammes différentes de celles retenues, ou on prend le risque de désorganiser la cellule.

On notera le compromis difficile à trouver entre les deux solutions extrêmes suivantes :

- une grande flexibilité mais une organisation complexe et une réactivité faible ;
- une flexibilité plus faible, mais une organisation et une gestion considérablement allégées et une réactivité plus grande.

Lorsqu'on compare les différents types de production (continue, discontinue et par projet), on note une relation étroite entre le coût et le volume de production (figure 2.5).

Figure 2.5 – Relation entre le coût et le volume de production



Pour les faibles volumes, une production par projet sera plus avantageuse (fabrication d'une Formule 1). Si le volume augmente, on passera par la production en discontinu (fabrication d'une Ferrari) et, si les volumes deviennent très importants, on passera à la production en continu (fabrication d'une Twingo).

Un des points épineux est le passage du fonctionnement en continu au fonctionnement en discontinu car ce dernier offre des avantages de flexibilité qu'il faut pouvoir conserver le plus longtemps possible.

1.3 Classification selon la relation avec le client

Dans la classification selon la relation avec le client, on distingue trois types de production et de vente :

- vente sur stock ;
- production à la commande ;
- assemblage à la commande.

1.3.1 Vente sur stock

Le client achète des produits existant dans le stock créé par l'entreprise. On retient ce type de production pour deux raisons principales :

Lorsque le délai de fabrication est supérieur au délai de livraison réclamé ou accepté par le client (poste de radio, vêtement de confection...). Il faut alors produire à l'avance pour satisfaire le client en s'appuyant sur des prévisions.

Pour produire en grande quantité et ainsi diminuer les coûts (tirage d'un livre en 5000 exemplaires).

1.3.2 Production à la commande

La production à la commande n'est commencée que si l'on dispose d'un engagement ferme du client. On évite alors (sauf cas d'annulation) le stock de produits finis. Ce type de production est préférable au type « vente sur stock », car il conduit à une diminution des stocks, donc des frais financiers. Ainsi, on aura tout intérêt à choisir ce type de production lorsque cela sera possible, c'est-à-dire lorsque le délai de mise à disposition correspondant au délai de production est accepté par le client. Cette organisation est obligatoire pour les produits non standards.

1.3.3 Assemblage à la commande

Ce type de production se situe entre les deux premiers. On fabrique sur stock des sous-ensembles standards. Ces sous-ensembles sont assemblés en fonction des commandes clients. Cette organisation permet de réduire de façon importante le délai entre la commande et la livraison d'un produit. En effet, le délai apparent est réduit à l'assemblage des sous-ensembles. Cette organisation réduit la valeur des stocks et permet de personnaliser les produits finis en fonction des commandes clients.

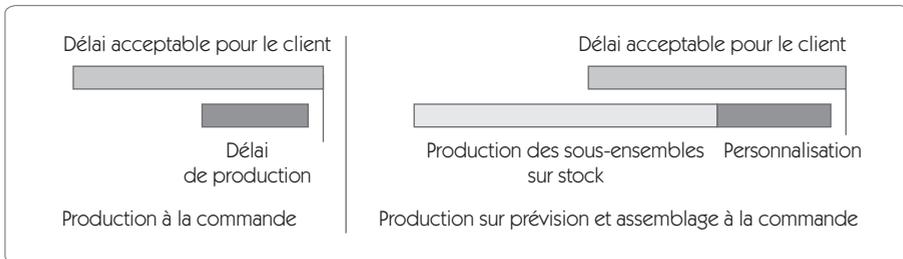
1.3.4 Comparaison sur stock à la commande

Il est évident qu'une entreprise a tout intérêt à ne produire que ce qui est acheté. Pour cela, il faut que son délai de production soit inférieur au délai acceptable par le client.

Exemples de délai acceptable :

- boîte de petits pois, délai 0 ;
- cuisine équipée, délai 6 semaines ;
- automobile, délai 6 semaines.

Figure 2.6 – Relation délai/type de production



2. Les différentes organisations de la production

2.1 Implantation en sections homogènes

C'est l'implantation (figure 2.3) que l'on rencontre le plus dans le cas des processus discontinus. Elle résulte de l'organisation taylorienne qui a prévalu dans nos sociétés pendant plusieurs décennies. On regroupe les machines ayant la même technique, ou les mêmes fonctions. Ainsi, dans un atelier de mécanique, on regroupe les fraiseuses, les tours, etc.

On regroupe également les machines sur des critères de qualité (précision) ou de capacité. En règle générale, le montage y est nettement séparé de la fabrication, la réception des matières premières et des produits achetés y est centralisée en un lieu unique (ce qui est souvent justifié par un contrôle de réception).

Avantages principaux :

- Regroupement des métiers – les personnes travaillant dans un secteur sont des professionnels de ce type de machine. Ils peuvent facilement passer d'une machine à l'autre.
- Flexibilité – l'implantation est indépendante des gammes de fabrication, il est donc possible de fabriquer tous les types de produits utilisant les moyens de l'atelier sans perturber davantage le flux.

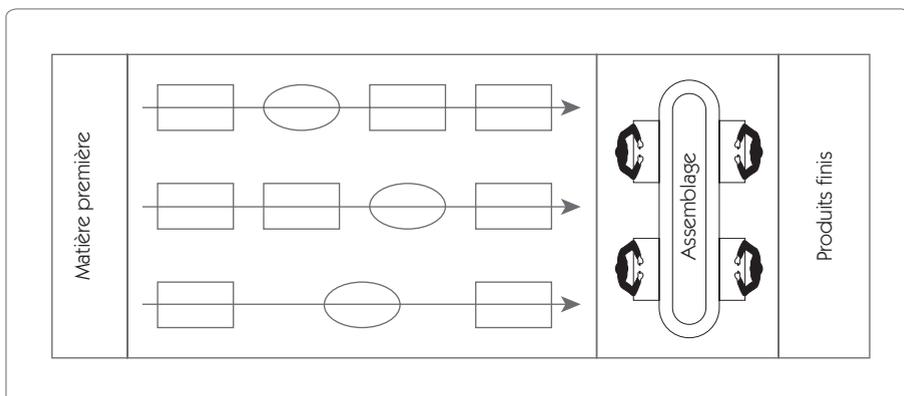
Inconvénients principaux :

- Flux complexes – dans ce type d'implantation, les flux sont complexes avec de nombreux points de rebroussement, d'accumulation.
- En-cours importants – c'est la conséquence logique de la complexité des flux. Ils se transforment nécessairement en délais de production importants.

2.2 Implantation en lignes de fabrication

On trouve principalement ce type d'implantation dans les processus continus.

Figure 2.7 – Implantation en ligne



Les machines sont placées en ligne dans l'ordre de la gamme de fabrication.

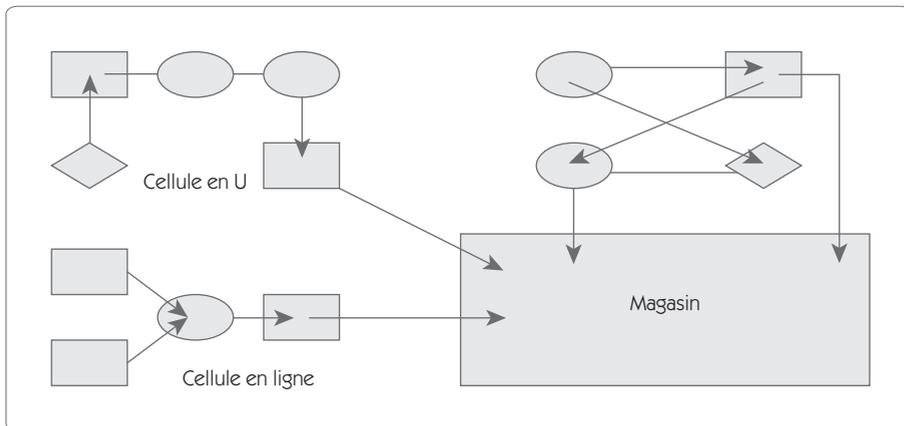
Ce type d'implantation possède les avantages suivants :

- pas de point de rebroussement ;
- flux faciles à identifier.

Cependant, l'implantation étant spécialisée pour un produit ou une famille de produits, la flexibilité de ce type d'implantation est extrêmement limitée.

2.3 Implantation en cellules de fabrication

Figure 2.8 – Implantation en cellule

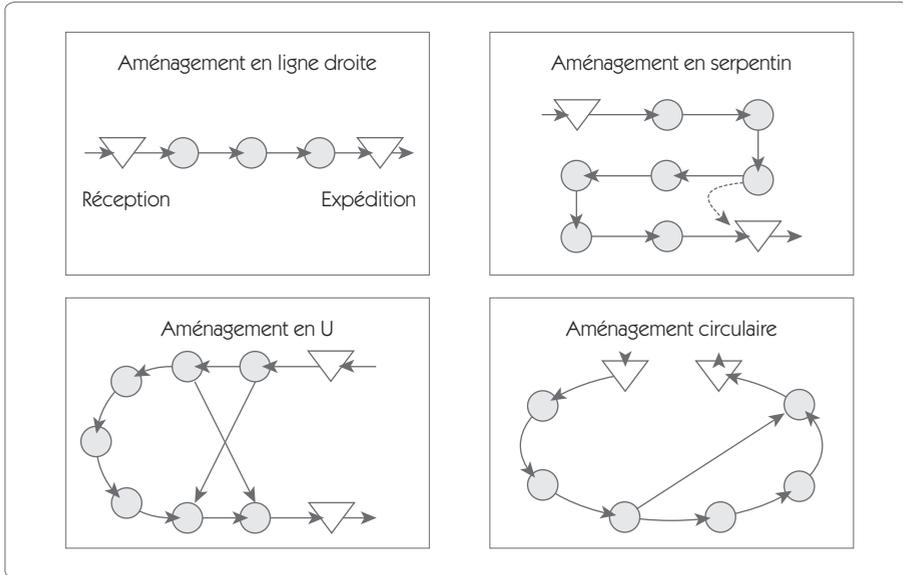


Une implantation en cellule est constituée de petits ateliers de production spécialisés de façon à réaliser entièrement un ensemble de pièces. On appelle également ces cellules des îlots de production. C'est un compromis entre la ligne et l'implantation fonctionnelle. Ce type d'implantation permet de diminuer considérablement les stocks et le délai dans le cas des processus discontinus.

Aménagements d'une cellule

L'aménagement des cellules peut être très différent d'un cas à l'autre. La figure 2.9 montre les principaux types d'aménagement.

Figure 2.9 – Les principaux aménagements de cellules



La cellule en U est extrêmement intéressante dans le cas de production de petite et moyenne série. Ses principaux avantages en sont :

- Communication importante entre les opérateurs situés à l'intérieur du U, ce qui permet d'anticiper l'apparition de problèmes.
- Facilité de faire passer de nombreuses gammes dans la cellule même si certaines machines ne sont pas utilisées.
- Facilité de faire varier la capacité de la ligne en faisant varier le nombre d'opérateurs. À la limite, un seul opérateur au centre peut faire fonctionner l'ensemble de la ligne à vitesse réduite.
- Unicité de la zone de déchargement des matières premières et de sortie des produits finis qui entraîne un gain dans le déplacement.

3. Conception d'une unité moderne de production

3.1 Les principes de base

La conception d'une bonne implantation d'un système de production doit être guidée par quelques principes de base :

- Tout déplacement qui n'amène pas de valeur ajoutée à une pièce est un gaspillage ; il faut le supprimer dans la mesure du possible.
- Une pièce ne devrait jamais être déplacée deux fois sans apport de valeur ajoutée entre les déplacements.
- Une bonne implantation est une implantation dans laquelle le cheminement des pièces est évident.

Pour illustrer ces principes, on peut caricaturer une bonne implantation de la façon suivante : si en regardant l'implantation des machines, je suis capable de comprendre la gamme de fabrication, alors l'atelier est bien implanté.

Si ce type d'implantation est « facile » à réaliser dans les processus continus, ce n'est pas aussi simple dans le cas des productions discontinues.

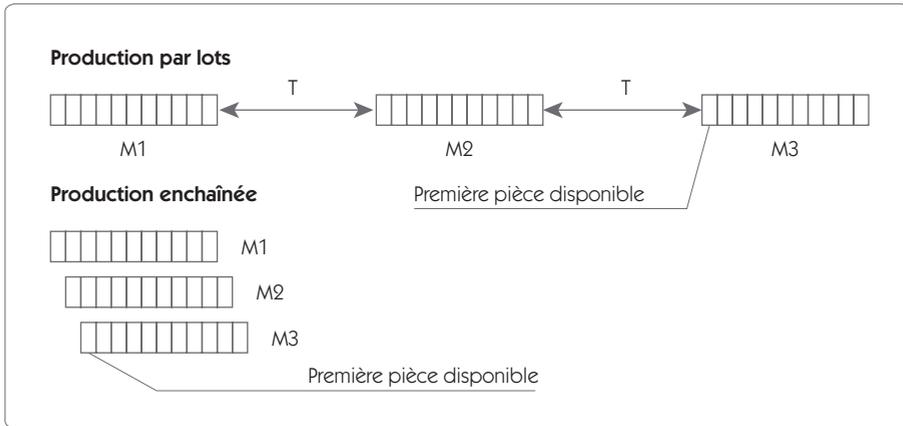
3.2 Les problèmes des implantations en sections homogènes

Ce type d'implantation provient du modèle taylorien : faire exécuter des tâches répétitives très spécialisées au personnel de chaque secteur. En règle générale, ce type d'implantation a pour effet d'augmenter les trajets des matières et des produits.

Les pièces passent par exemple par le secteur des tours, puis par le secteur des fraiseuses. Elles contournent nécessairement toutes les fraiseuses qui ne les concernent pas pour atteindre celle qui doit les traiter !

Les déplacements étant longs (donc coûteux), on cherche à les optimiser en utilisant la fabrication par lots. Ce type de fabrication entraîne des délais de production et des niveaux de stock élevés.

Figure 2.10 – Différence lot par lot et enchaînée



La figure 2.10 montre la différence que présente une production sans transport et enchaînée par rapport à une production par lots avec transport. Bien que théorique, ce schéma montre clairement la direction qu'il faut prendre : *il faut fluidifier le trafic des pièces dans l'atelier*. Cela consiste à :

- enchaîner les opérations ;
- supprimer les stocks intermédiaires ;
- réduire au strict minimum les opérations de manutention ;
- simplifier le flux des pièces ;
- faciliter le suivi de production.

Pour cela, voici les grandes orientations que l'on doit prendre :

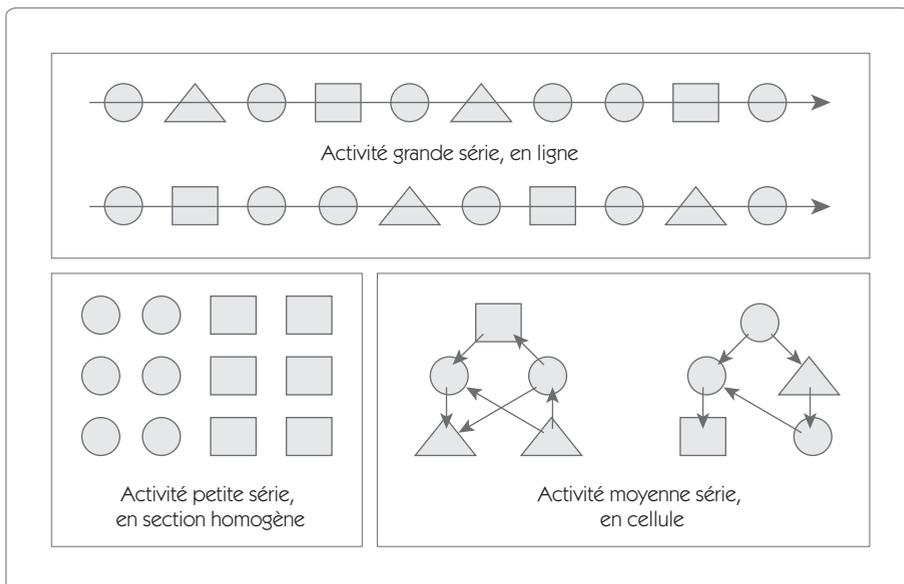
- la séparation des usines ;
- la séparation géographique des fabrications de produits différents ;
- la décentralisation des activités de stockage et d'expédition ;
- le dédoublement de certaines machines.

3.3. La séparation des usines

Une usine présente souvent un mélange de plusieurs types de production. Or, comme nous l'avons déjà signalé, à chaque type de production correspond un type de gestion et un type d'implantation. Pour clarifier la situation, il ne faut pas hésiter à créer au sein de la même usine plusieurs « micro-usines » ayant chacune sa spécificité.

Ainsi, schématiquement, les produits fabriqués en grandes séries pourront être implantés en ligne de fabrication, les séries moyennes en cellules, et on conservera l'implantation fonctionnelle pour les petites séries.

Figure 2.11 – Séparation des usines



3.4 La séparation géographique des fabrications de produits différents

Cette méthode est couramment employée dans les entreprises qui font un type de produit unique dans des versions différentes.

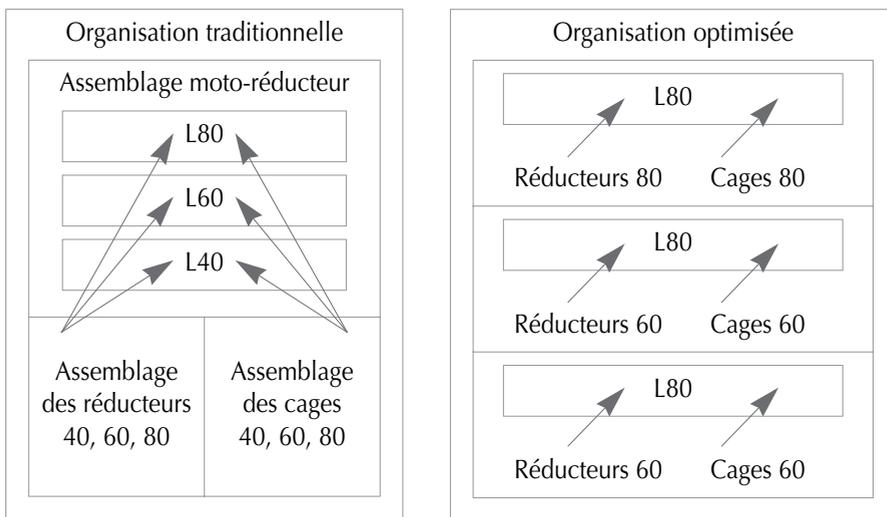
Prenons comme exemple une entreprise fabriquant des motoréducteurs pour volets roulants (figure 2.12). Les trois principales gammes de la production sont les gammes 40, 60, 80. Un motoréducteur est constitué de deux parties principales :

- la cage ;
- le réducteur.

L'implantation traditionnelle consistait en trois ateliers distincts :

- assemblage des cages ;
- assemblage des moteurs ;
- assemblage des réducteurs.

Figure 2.12 – Séparation des produits



Dans ce type d'organisation, bien que le produit s'adapte bien à une typologie continue, nous retrouvons l'atelier à tâches : les motoréducteurs de type 60 devant contourner les machines prévues pour le type 40.

Une organisation plus rationnelle consiste à séparer les différents types de produits en créant trois sous-ensembles indépendants dans lesquels les machines sont mises en ligne.

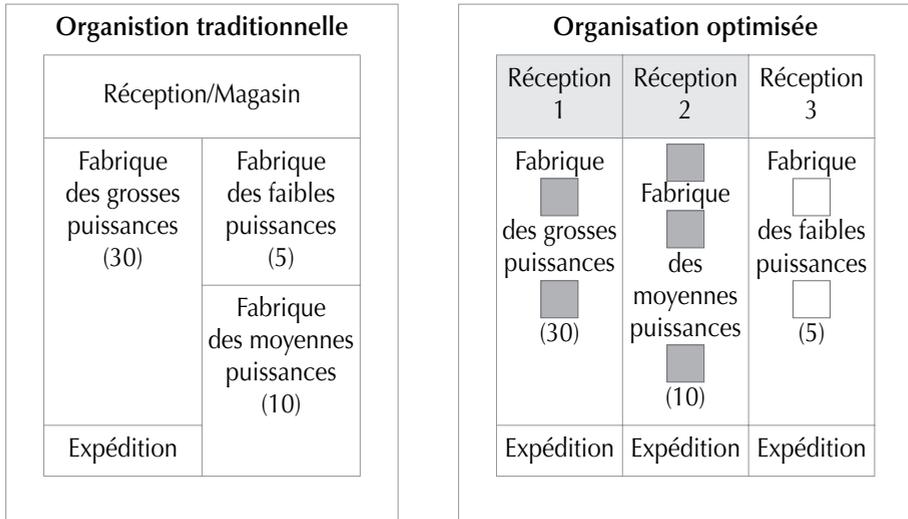
Pour optimiser ce type d'implantation, il faut supprimer la traditionnelle séparation entre fabrication et montage. Le montage doit être en prise directe avec la fabrication.

3.5 La décentralisation des activités de stockage et d'expédition

Un déplacement est une dépense d'argent qui n'apporte aucune valeur ajoutée au produit. Or, la centralisation des activités de stockage, réception et expédition conduit souvent à des déplacements inutiles.

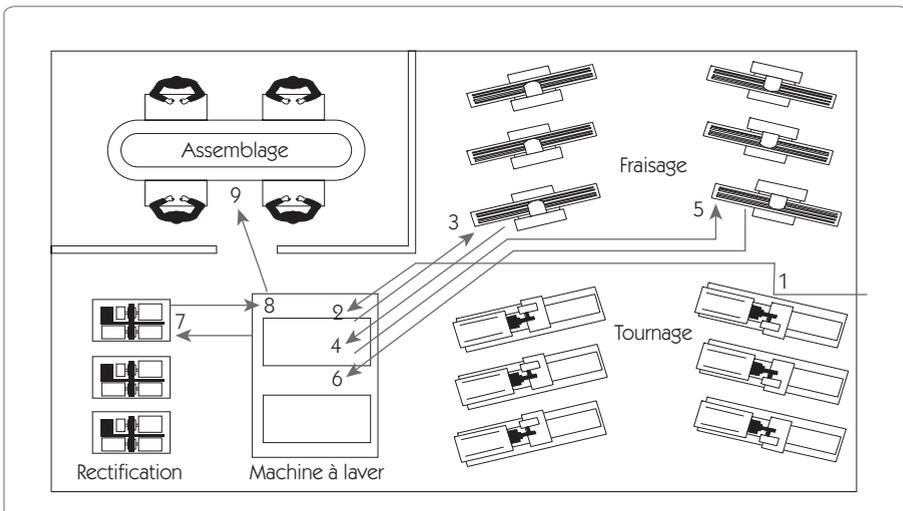
La figure 2.13 montre l'amélioration de l'implantation d'une entreprise de production de moteurs électriques (gamme 5, 10, 30 kW). On a décentralisé la réception des matières premières en optant pour une réception par produits, et des points de réception directement dans l'atelier de fabrication. Afin d'obtenir cette décentralisation, il faut absolument mettre en place des structures d'accompagnement telles que de nouvelles relations avec les fournisseurs, un autocontrôle... La décentralisation des activités de réception s'accompagne donc nécessairement d'une politique d'assurance qualité.

Figure 2.13
Décentralisation des activités de réception et d'expédition



3.6 Le dédoublement de certaines machines

Figure 2.14 – Le problème des machines qui concentrent les flux



Dans le cas de la figure 2.14, on note que la machine à laver est un point de passage obligé entre chaque étape de la fabrication. Il n'est donc pas possible de mettre en ligne les machines à cause de cette machine centrale. Il est parfois plus intéressant en termes de flux de disposer de plusieurs machines de faible capacité, plutôt qu'une machine de forte capacité. Le dédoublement des machines est parfois source de beaucoup de fluidité dans les ateliers de production.

4. Les méthodes d'analyse

4.1 Les documents à réunir

Un problème d'implantation est un problème complexe qui nécessite un grand nombre de données. Les informations nécessaires sont souvent dispersées et la première étape consiste à réunir l'ensemble des informations.

En voici les éléments nécessaires :

- les plans à l'échelle des locaux et des installations ;
- le catalogue des objets fabriqués dans l'entreprise ;
- les nomenclatures des produits ;
- les gammes de fabrication des produits ;
- le programme de fabrication de l'entreprise (quantités, cadences) ;
- les caractéristiques des machines et des postes de fabrication ;
- les caractéristiques des moyens de manutention.

La partie analyse d'un projet d'implantation consiste à mettre en forme ces informations pour bien comprendre les différentes contraintes relatives au projet. Les méthodes décrites ci-après ont toutes pour objectif de synthétiser les informations.

4.2 Le graphique de circulation

Ce graphique consiste à représenter sur un plan les différents flux par différentes couleurs. Plusieurs versions de ce graphique peuvent être réalisées :

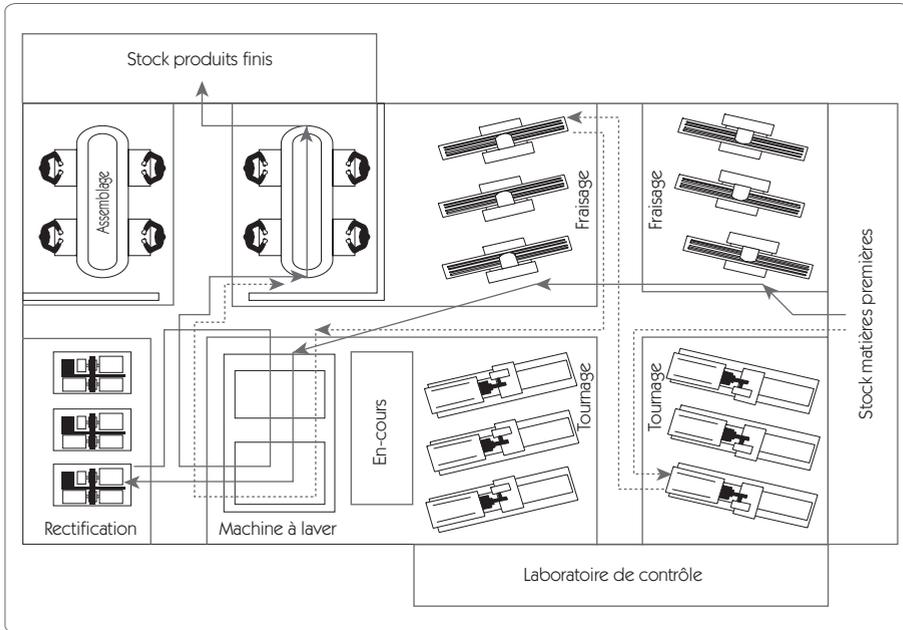
- plan papier avec flux au crayon ;
- plan mural avec flux représentés par des ficelles de différentes couleurs fixées par des épingles ;
- plan informatique CAO Multicouche ou logiciel spécifique à l'implantation¹.

Les deux dernières représentations sont préférables à la première en ceci qu'elles permettent de modifier plus aisément les flux. Ce diagramme permet de visualiser :

- la longueur des circuits ;
- la complexité des flux ;
- la logique de l'implantation ;
- les lieux de stockage ;
- les points de rebroussement ;
- les déplacements inutiles ou trop longs ;
- l'importance des manutentions.

1. Voir notamment le logiciel IMPACT, logiciel d'implantation de sites de production, sur <http://www.ogp-annecy.com>

Figure 2.15 – Graphique de circulation



Le graphique de circulation est à la base de toute démarche d'implantation.

4.3 Le schéma opératoire

Il permet de schématiser la suite des opérations nécessaires pour fabriquer un produit. Ce schéma a pour principe de décomposer les processus opératoires en cinq éléments :

- opération ou transformation qui apporte de la valeur ajoutée
- transport ou manutention
- stockage avec opération d'entrée/sortie
- stocks tampons
- contrôles

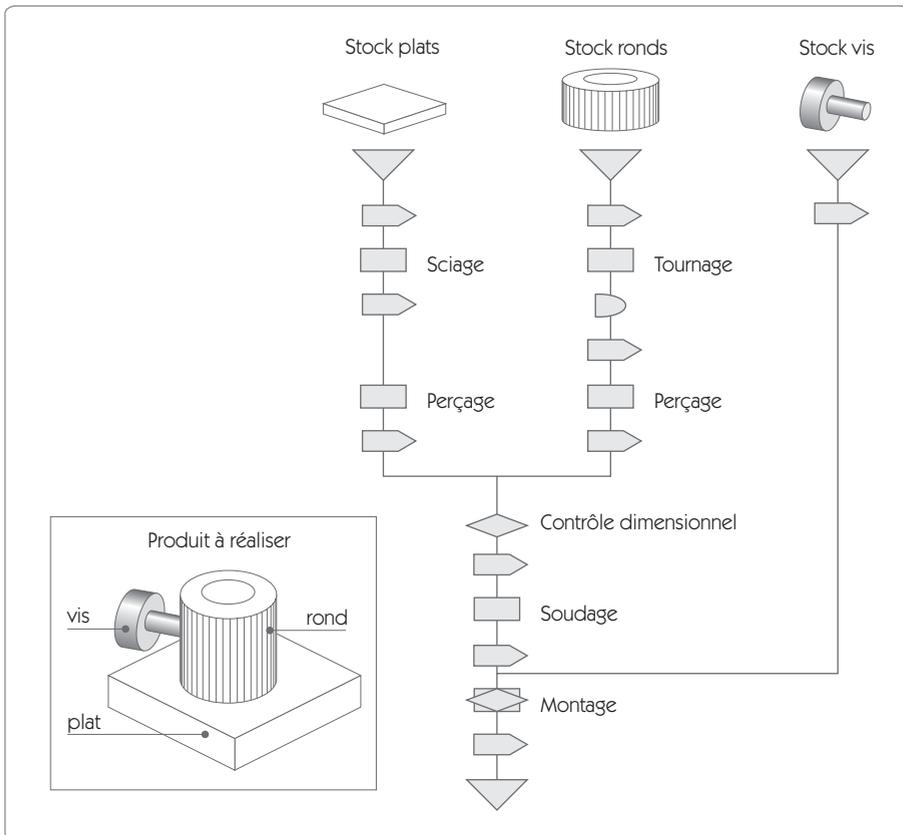
Un sixième élément peut apparaître, en combinant production de valeur ajoutée et contrôle pour schématiser les opérations en autocontrôle.

On rajoute de la couleur pour rendre le schéma plus parlant. En général, voici les couleurs utilisées :

- Production de valeur ajoutée = Vert
- Transport = Bleu
- Stock = Orange
- Contrôle = Rouge.

Exemple de schéma opératoire

Figure 2.16 – Schéma opératoire



Ce schéma n'indique pas d'informations quantitatives de type distance, quantité, temps. Il synthétise les trajets et permet de visualiser l'importance des opérations sans valeur ajoutée par rapport aux opérations avec valeur ajoutée (□). Toutes les opérations sans valeur ajoutée sont parfois représentées en rouge. Elles représentent des sources de productivité si on arrive à les supprimer.

4.4 Analyse de déroulement

Application : fabrication du plat

Figure 2.17 – Analyse de déroulement

					Distance	Temps	Quantité	Poids	Déroulement
									sortie magasin
					70 m	0,3 h	1000	25 kg	vers sciage
						0,12 h/p			sciage
					10 m	0,1 h	50	1,25 kg	vers perçage
						0,06 h/p			perçage
					5 m	0,1 h	50	1,25 kg	vers contrôle
1	3	3	0	0	85 m				

L'analyse de déroulement est plus précise que le schéma opératoire. Elle se focalise sur la fabrication d'un produit. En plus de la description des opérations, on trouve les informations de distance, temps, quantité, poids.

Ce tableau est souvent utilisé pour comparer plusieurs solutions.

4.5 Le plan coloré

Le plan coloré consiste à représenter sur un plan les différentes zones de l'entreprise afin de montrer leurs importances respectives. En général, on différencie quatre types de zone :

- en vert, les zones où il y a apport de valeur ajoutée, c'est-à-dire principalement les zones de production ;
- en orange, les zones de stockage, magasins et en-cours ;
- en bleu, les zones de transport, allées, quai de chargement ;
- en rouge, les zones de non-qualité, zone de rebut, attente pour retouche.

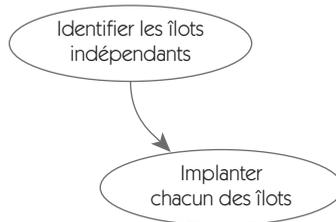
Ce schéma, très didactique, montre clairement le ratio entre les zones apportant de la valeur ajoutée et les autres. Les améliorations à apporter apparaissent clairement.

Ce plan est parfois astucieusement appelé le plan « VOIR » à cause des quatre couleurs utilisées (Vert, Orange, Indigo, Rouge)

5. Les méthodes de résolution

5.1 La logique et les méthodes

L'implantation des moyens de production doit être établie en respectant une logique qui permet de bien séparer les usines.



1. Identifier parmi l'ensemble des moyens de production des îlots de production le plus indépendants possible.
2. Planter chaque îlot repéré, en suivant la démarche suivante :
 - rechercher une implantation linéaire ;
 - à défaut, rapprocher les machines entre lesquelles circule un trafic important ;
 - à défaut, planter l'îlot en section homogène.

5.2 Recherche des îlots de production

La recherche des îlots de production parmi l'ensemble des gammes de l'entreprise a suscité de nombreux travaux dont notamment ceux de Kuziack et de King. Nous présentons dans ce paragraphe la méthode de Kuziack.

5.2.1 Méthode de Kuziack

Pour appliquer cette méthode, considérons les gammes d'un ensemble de pièces données par le tableau 2.17. La gamme de la pièce P1 est la suivante : Machine M2 /Machine M5.

Figure 2.18 – Tableau des gammes de fabrication

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1		1			2		
P2				2		1	
P3			2	3	1		
P4	1						2
P5		1			2		
P6				2		1	
P7		2	1				

Étape 1 – On sélectionne la première ligne et les colonnes attachées à cette ligne.

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1		1			2		
P2				2		1	
P3			2	3	1		
P4	1						2
P5		1			2		
P6				2		1	
P7		2	1				

Étape 2 – On sélectionne les lignes attachées aux colonnes sélectionnées. Pour séparer des îlots éventuellement rattachés entre eux par une machine, on ne prend dans un îlot que les pièces qui ont au moins 50 % des machines déjà rattachées à celui-ci.

Ainsi, on intègre la pièce P7 (1 machine sur 2) et évidemment P5 (2 sur 2), mais pas la pièce P3 (1 machine sur 3).

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1		1			2		
P2				2		1	
P3			2	3	1		
P4	1						2
P5		1			2		
P6				2		1	
P7		2	1				

Étape 3 – On recommence l'étape 1 en sélectionnant les colonnes attachées à l'îlot.

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1		1			2		
P2				2		1	
P3			2	3	1		
P4	1						2
P5		1			2		
P6				2		1	
P7		2	1				

Étape 4 – On arrête lorsque la ligne (ou la colonne) ne comporte plus d'éléments. Dans le tableau ci-après, on ne regroupe pas M4 car cette machine concerne 1 pièce de cet îlot pour 2 pièces hors îlot.

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1		1			2		
P2				2		1	
P3			2	3	1		
P4	1						2
P5		1			2		
P6				2		1	
P7		2	1				

Le premier regroupement est alors réalisé (M2, M3, M5).

Étape 5 – On retranche les pièces et les machines déjà regroupées.

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P2				2		1	
P4	1						2
P6				2		1	

En répétant le même processus que précédemment, on identifie deux nouveaux îlots indépendants. La répartition est alors la suivante :

Machines Pièces	M2	M3	M5	M4	M6	M1	M7
P1	1		2				
P5	1		2				
P7	2	1					
P3		2	1	3			
P2				2	1		
P6				2	1		
P4						1	2

La machine M4 doit être dédoublée si on veut rendre les îlots indépendants. Bien sûr, le critère de choix pour ce dédoublement reste la charge de cette machine.

5.2.2 Méthode de King

La méthode de King est plus rigoureuse que la méthode de Kuziack. Cependant, son traitement sur le papier n'est pas très adapté. Pour utiliser cette méthode, il est indispensable de disposer d'un tableur ou

d'un logiciel spécifique tel qu'« IMPACT ». Appliquons la méthode de King sur le même exemple, vu précédemment.

Machines Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1		1			2		
P2				2		1	
P3			2	3	1		
P4	1						2
P5		1			2		
P6				2		1	
P7		2	1				

Étape 1 – On traduit la matrice en écriture binaire en affectant un poids en puissance de 2 à chacune des pièces (première colonne du tableau ci-après).

L'équivalent décimal est alors calculé en sommant les poids des pièces utilisant la machine.

Ainsi, l'équivalent décimal de M4 = $2^5 + 2^4 + 2^1 = 32 + 16 + 2 = 50$.

Poids	Pièces	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
2^6	P1	0	1	0	0	1	0	0
2^5	P2	0	0	0	1	0	1	0
2^4	P3	0	0	1	1	1	0	0
2^3	P4	1	0	0	0	0	0	1
2^2	P5	0	1	0	0	1	0	0
2^1	P6	0	0	0	1	0	1	0
2^0	P7	0	1	1	0	0	0	0
Équivalent décimal		8	69	17	50	84	34	8

Étape 2 – On ordonne les colonnes dans l'ordre décroissant de l'équivalent décimal. En cas d'égalité, on respecte l'ordre des machines. On suit alors le même processus, mais sur les colonnes.

Par exemple pour P1, $2^6 + 2^5 = 96$.

Pièces	M5	M2	M4	M6	M3	M1	M7	Équivalent décimal
P1	1	1	0	0	0	0	0	96
P2	0	0	1	1	0	0	0	24
P3	1	0	1	0	1	0	0	84
P4	0	0	0	0	0	1	1	3
P5	1	1	0	0	0	0	0	96
P6	0	0	1	1	0	0	0	24
P7	0	1	0	0	1	0	0	36
Poids	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	

Étape 3 – On recommence le même processus sur les lignes.

Poids	Pièces	M5	M2	M4	M6	M3	M1	M7
2^6	P1	1	1	0	0	0	0	0
2^5	P5	1	1	0	0	0	0	0
2^4	P3	1	0	1	0	1	0	0
2^3	P7	0	1	0	0	1	0	0
2^2	P2	0	0	1	1	0	0	0
2^1	P6	0	0	1	1	0	0	0
2^0	P4	0	0	0	0	0	1	1
Équivalent décimal		112	104	22	6	24	1	1

On ordonne M5, M2, M3, M4, M6, M1, M7, ce qui donne le tableau suivant :

Pièces	M5	M2	M3	M4	M6	M1	M7	Équivalent décimal
P1	1	1	0	0	0	0	0	96
P5	1	1	0	0	0	0	0	96
P3	1	0	1	1	0	0	0	88
P7	0	1	1	0	0	0	0	48
P2	0	0	0	1	1	0	0	12
P6	0	0	0	1	1	0	0	12
P4	0	0	0	0	0	1	1	3
Poids	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	

On arrête le processus lorsqu'il n'y a plus d'inversion à faire. On retrouve ici le même regroupement que celui donné par la méthode de Kuziack. Cependant, les regroupements occasionnés par les deux méthodes ne sont pas toujours identiques.

5.3 Méthode de mise en ligne

Après avoir identifié les îlots de production indépendants, il faut procéder à l'implantation de chaque îlot. L'implantation idéale doit suivre le plus possible la gamme de fabrication. C'est pour cela que l'on cherchera autant que faire se peut à mettre en ligne les machines. Cela peut se faire de multiples façons. Nous présenterons deux méthodes : la méthode des antériorités et la méthode des rangs moyens.

5.3.1 Méthode des antériorités

Soit l'îlot de fabrication avec les gammes définies par la figure 2.19.

Figure 2.19 – Gammes de fabrication

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
P1		3	1			2	4	5	6
P2	1	5		3	2		4	6	7
P3	1	3		2			4	5	
P4	1	5		3	2	4		6	7

Étape 1 – On établit le tableau des antériorités.

Pour établir ce tableau, on place dans chaque colonne l'ensemble des machines qui interviennent dans une gamme avant la machine considérée.

Machines	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Antériorités		M1 M3 M4 M5 M6 M7		M1 M5	M1	M1 M3 M4 M5	M1 M2 M3 M4 M5 M6	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8

Étape 2 – On place et on raye les machines qui n'ont pas d'antériorité.

Machines	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Antériorités		M1 M3 M4 M5 M6 M7		M1 M5	M1	M1 M3 M4 M5	M1 M2 M3 M4 M5 M6	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8

M1

M3

Étape 3 – La machine M5 n’a plus d’antériorité. On raye M5 et on place cette machine après M1, M3.

Machines	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Antériorités		M1 M3 M4 M5 M6 M7		M1 M5	M1	M1 M3 M4 M5	M1 M2 M3 M4 M5 M6	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8

On place de même les machines M4, M6.



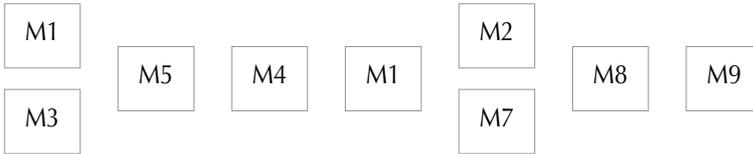
Étape 4 – Présence de boucle.

Machines	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Antériorités		M1 M3 M4 M5 M6 M7		M1 M5	M1	M1 M3 M4 M5	M1 M2 M3 M4 M5 M6	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8

Lorsqu’il y a une boucle dans le tableau, par exemple

M2	M7
M7	M2

on raye en même temps M2 et M7 et on les met en parallèle.



On place alors M8 en suivant la même procédure.

5.3.2 Méthode des rangs moyens

Reprenons le même îlot de fabrication avec les gammes définies dans le tableau 2.19. Pour chaque machine, on calcule un rang moyen qui est la place moyenne de cette machine dans les gammes de fabrication (exemple pour M2 : $16/4 = 4$).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
P1		3	1			2	4	5	6
P2	1	5		3	2		4	6	7
P3	1	3		2			4	5	
P4	1	5		3	2	4		6	7
Total des rangs	3	16	1	8	4	6	12	22	20
Nombre de rangs	3	4	1	3	2	2	3	4	3
Rang moyen	1	4	1	2,66	2	3	4	5,5	6,66

$$= 3 + 5 + 3 + 5$$

Nombre de fois où la machine apparaît dans les gammes

Le tableau est alors classé dans l'ordre croissant des rangs moyens. On note sur ce tableau les points de rebroussement par une flèche (ordre des machines ne respectant pas l'ordre des opérations d'une gamme).

	M1	M3	M5	M4	M6	M2	M7	M8	M9
P1		1			2	3	4	5	6
P2	1		2	3		5 ←	4	6	7
P3	1			2		3	4	5	
P4	1		2	3	4	5		6	7
Rang moyen	1	1	2	2,66	3	4	4	5,5	6,66

Les points de rebroussement sont éliminés d'une manière empirique lorsque cela est possible par inversion des machines. Quand ce n'est pas possible (comme dans notre exemple), on peut éventuellement les supprimer en multipliant les machines si les ressources existent, ou procéder à l'implantation en parallèle.

Dans le cas de l'exemple simple que nous avons pris, la méthode des rangs moyens donne immédiatement la bonne *gamme fictive*. La gamme fictive représente la suite des machines telle que les gammes de fabrications des produits soient un sous-ensemble avec un minimum de points de rebroussement.

5.4 Optimisation – Méthode des chaînons

La méthode des chaînons est certainement la méthode la plus connue pour implanter les ateliers de production. En voici les objectifs :

- minimiser les manutentions dans un atelier à tâches ;
- rapprocher les machines qui sont le plus en relations.

Définitions

Chaînon : on appelle chaînon la trajectoire de manutention réunissant les postes de travail successifs.

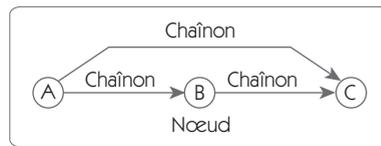
Nœud : un nœud est un poste de travail d'où émane(nt) un (ou plusieurs) chaînon(s).

Exemples

Soient deux produits P1 et P2

Gamme de P1 : A, B, C

Gamme de P2 : A, C



Le chaînon entre A et B indique que A est en relation avec B dans une gamme de fabrication. Il y a donc transfert de produits de A vers B.

Étudions la méthode à partir de l'exemple de l'implantation d'un atelier de mécanique simple. La contrainte principale de cette implantation est la machine à laver (D), qui est une machine importante et qui ne peut pas être déplacée.

L'implantation actuelle est donnée par la figure 2.21

Figure 2.21 – Implantation initiale de l'atelier

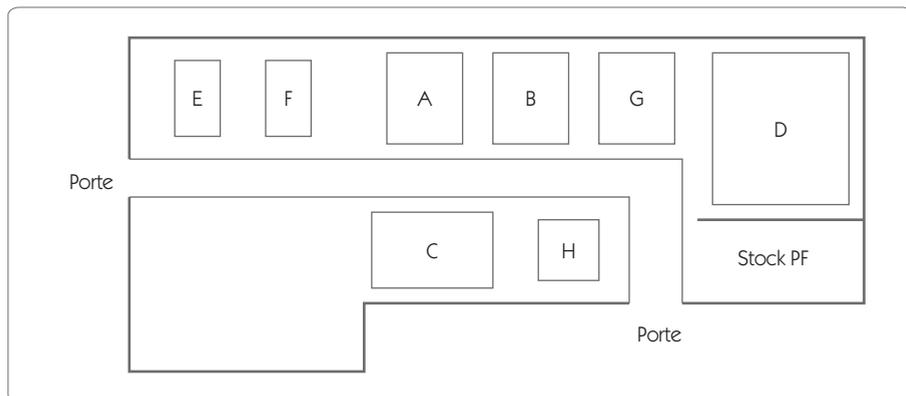


Figure 2.22 – Gammes et programme de production

Machines		Gammes		Programme de production		
Réf.	Nom	Produit	Gamme	Quantité/ mois	Pièces/ panier	Paniers/ mois
A	Tour n° 1	P1	A – B – D – E – D – G	20 000	100	200
B	Tour n° 2	P2	A – D – H	25 000	250	100
C	Tronçonneuse	P3	C – B – F – D – H	12 500	100	125
D	Machine à laver	P4	C – B – E	5 000	10	500
E	Reprise 1	P5	A – D – H	35 000	500	70
F	Reprise 2					
G	Rectifieuse 1					
H	Rectifieuse 2					

Étape 1 – Quantifier le trafic

La méthode des chaînons se fonde sur l'analyse du trafic entre les postes. Le trafic peut être quantifié par :

- le nombre de pièces ;
- le poids transporté ;
- le volume transporté ;
- le nombre de containers, de palettes ;
- etc.

L'unité doit être cohérente pour l'ensemble de l'étude, et significative de la densité des manutentions. Par exemple, dans une entreprise qui fabrique des produits de tailles très différentes, le nombre de pièces ne sera pas le bon critère. Il est en effet plus facile de transporter dix produits de cent grammes qu'un produit d'une tonne.

On établit à partir des gammes de fabrication (figure 2.22) le tableau d'intensité des trafics (figure 2.23). Ce tableau a pour objectif de recenser l'ensemble des flux de fabrication et de faire apparaître l'importance relative des trafics entre les machines.

On porte sur ce tableau la grandeur pertinente pour indiquer l'intensité du trafic existant. Dans notre cas, c'est le nombre de paniers par mois.

Ainsi, de la machine C à la machine B, il y a deux chaînons (produits P3 et P4). L'intensité du trafic est donc de $500 + 125 = 625$ paniers par mois.

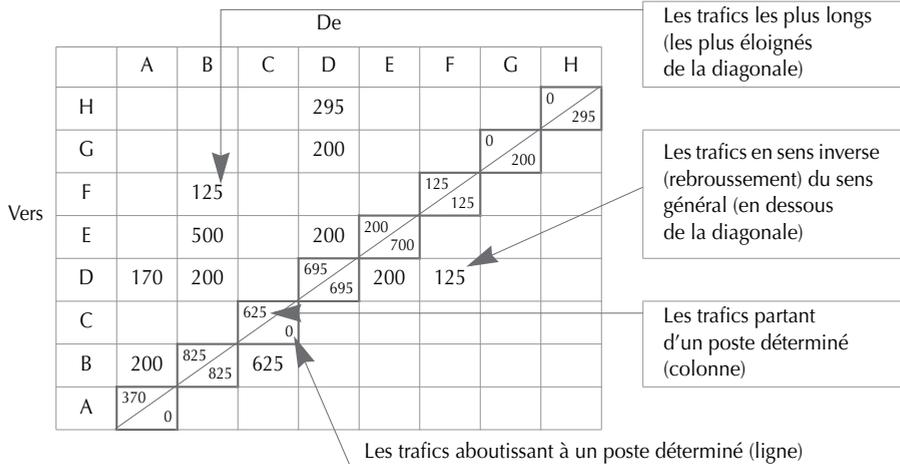
Figure 2.23 – Tableau des intensités du trafic

		De							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Vers	H				295				0
	G				200			0	295
	F		125				125		200
	E		500		200	200			
	D	170	200		695	200	125		
	C			625	0				
	B	200	825	625					
	A	370	0						

$= 125(P3) + 500(P4)$
Somme des lignes
Somme des colonnes

Le tableau d'intensité du trafic permet d'effectuer une première analyse grâce aux remarques portées en figure 2.24.

Figure 2.24 – Critères d'analyse du trafic

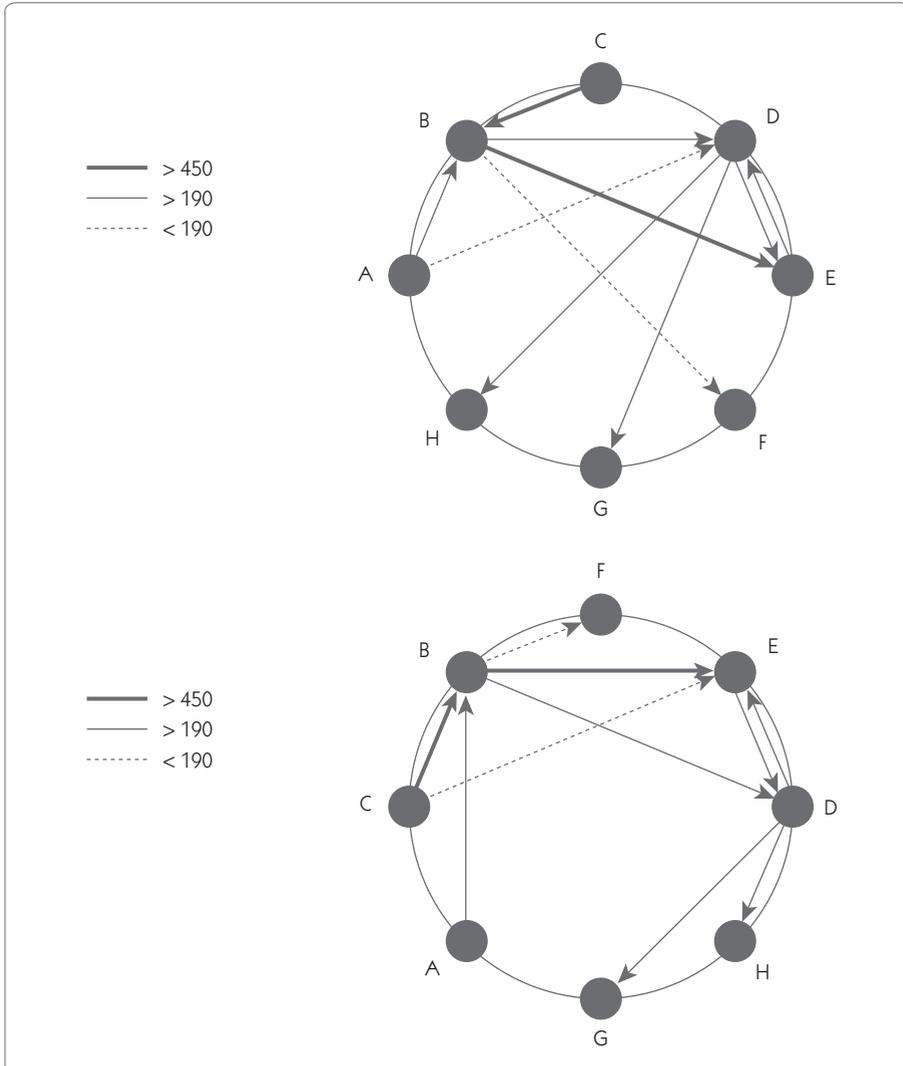


Implantation théorique

Pour optimiser le placement des postes les uns à côté des autres, une première implantation théorique est réalisée sans contrainte. Le seul but de cette première implantation est de rapprocher les machines entre lesquelles les flux sont les plus importants.

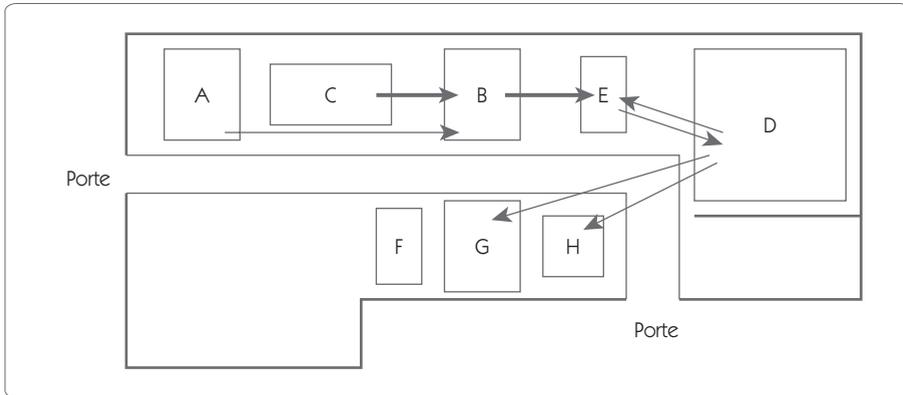
On réalise un classement des flux en trois catégories en fonction de leur importance. Les flux sont alors reportés sur un cercle par souci de visibilité (figure 2.25). Une réorganisation empirique permet de modifier l'ordre des machines pour clarifier les flux.

Figure 2.25 – Implantation théorique sur un cercle



On peut passer directement de cette implantation théorique à l'implantation pratique ou réaliser une étape intermédiaire en utilisant une maille carrée ou triangulaire. Utilisons la maille carrée (figure 2.26).

Figure 2.27 – Implantation finale



6. Technologie de groupe

Nous venons de présenter les méthodes d'implantation d'atelier. Cependant, la philosophie de regroupement qui prévaut dans les techniques d'implantation peut être généralisée à l'ensemble des secteurs de l'entreprise. C'est l'objectif de la technologie de groupe qui propose par un codage spécial de rassembler les produits à forte similitude dans des familles, et ce, dès la conception.

6.1 Pourquoi la technologie de groupe

Nous avons vu que l'on établit une première distinction entre les types de production à partir de la taille des séries. Les grandes et les petites séries sont très différentes du point de vue de l'organisation de leur production. Schématiquement, pour **les grandes séries, on a** :

- une organisation assez aisée de la production ;
- une préparation du travail très poussée ;

pour **les moyennes et petites séries** :

- une préparation du travail succincte ;
- de nombreux lots en lancement.

Il est évident que l'organisation d'une production en grandes séries est plus aisée que dans le cas des petites séries. Or, l'analyse des différentes entreprises sur le marché montre que plus de 75 % des types de pièces sont fabriqués en séries de moins de 50 unités.

L'idée de la technologie de groupe consiste à rechercher des regroupements de pièces dans le cas des petites et moyennes séries qui permettent de bénéficier dans ce type de production des facilités de gestion des productions en grandes séries.

Pour faciliter ce regroupement, il faut rechercher une méthode qui permette :

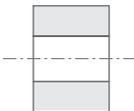
- de regrouper les pièces présentant des analogies ;
- d'éviter d'étudier deux fois de suite la même pièce ;
- de diminuer les coûts d'outillage.

Intérêt pour le bureau d'études

Une étude (origine CETIM) sur les pièces utilisées en mécanique a montré que :



- les pièces de révolution pleines comprennent 1 ou 2 diamètres principaux représentant plus de 1 dessin sur 8 ;



- les pièces de révolution creuses non étagées représentent également plus de 1 dessin sur 8.

Un regroupement sur critère morphologique permet de réunir les pièces de formes et de dimensions semblables ou les pièces comportant des éléments identiques.

Ce regroupement oriente la conception vers une réutilisation maximale des pièces déjà dessinées et vers une action de standardisation des pièces et éléments de forme.

Intérêt pour le bureau des méthodes

- diminuer le nombre de gammes à créer ;
- réduire le temps consacré à l'écriture et au chiffrage ;
- réaliser une préparation du travail homogène ;
- utiliser de façon rationnelle le parc machine.

Intérêt pour la fabrication

- diminuer le nombre de variétés de pièces, d'où une planification plus aisée ;
- regrouper les pièces de même forme et donc de même gamme ;
- créer des îlots de fabrication, des groupes ou cellules de fabrication ;
- augmenter la taille des séries ;
- diminuer les temps de changement de séries ;
- faciliter l'écoulement des pièces ;
- réduire les manutentions.

6.2 Systèmes de classification

Le regroupement des pièces par famille est souvent réalisé par codage des produits sur un critère morphodimensionnel. Les principes généralement retenus pour ce codage sont les suivants :

- systèmes de classification fondés sur des familles de pièces apparentes, généralement définis par leurs fonctions (arbres, carters, vilebrequins, rouleaux) ;
- systèmes de classification fondés sur une codification universelle ;
- système de classification à partir d'un code adapté à l'entreprise.

Les deux systèmes de classement morphodimensionnel les plus connus sont les systèmes OPITZ et CETIM PMG pour les pièces de mécanique générale. Tous deux reposent sur un système de codification analytique comme la grande majorité des classements présents sur le marché.

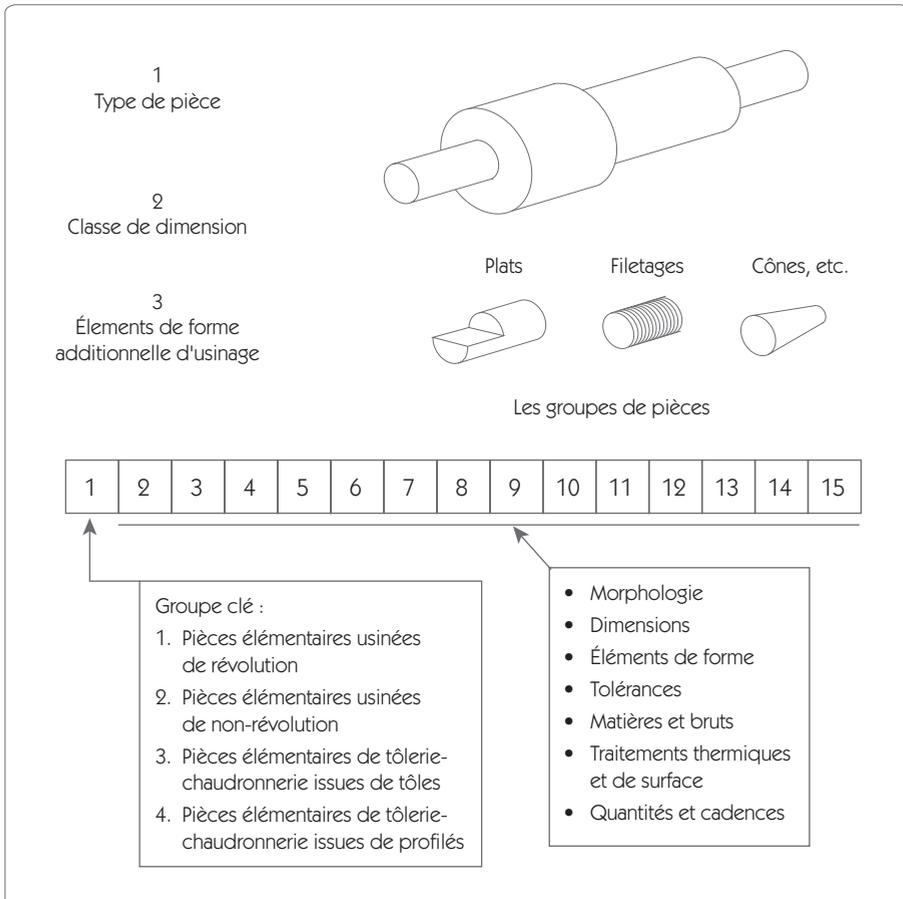
Le système du CETIM

À titre d'exemple, nous allons voir de façon succincte le principe du système de codification proposé par le CETIM. Il utilise une codification morphodimensionnelle adaptée à chaque entreprise en fonction de ses problèmes et de son contexte. Une pièce est codée selon :

- le type de pièce ;
- la classe de dimension ;
- les éléments de forme additionnelle d'usinage.

Le principe de la classification est donc simple : à chaque nouvelle pièce, on attribue un code en fonction des critères venant d'être énumérés, et on compare la pièce à toutes celles qui ont un code similaire (figure 2.28).

Figure 2.28 – Codification du CETIM



Remarque : bien qu'un système de codification analytique soit parfaitement adapté à la classification morphodimensionnelle des pièces, le système reste quand même limité. En effet, dans la codification CETIM par exemple, les matières sont codées par un chiffre ; il est donc impossible de différencier plus de 10 matières différentes. Le même problème se pose dans une entreprise qui travaille principalement des métaux et qui les remplace progressivement par des plastiques techniques.

7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'étudier les différents types de production avec leurs spécificités. Lors des chapitres suivants, nous approfondirons les différentes méthodes de gestion de production qui s'appliquent particulièrement à chaque type de production.

L'étude détaillée des méthodes d'implantation des ateliers de production nous a permis d'insister sur l'importance de la mise en ligne des moyens de production. Héritage de l'ère taylorienne, les implantations en sections homogènes ont montré leurs limites dès que les séries commencent à devenir importantes. Une des bases de la gestion de production moderne consiste à simplifier avant de gérer. C'est bien l'objectif de l'implantation qui permet de simplifier les flux, et ainsi de supprimer un nombre important d'opérations qui n'apportent pas de valeur ajoutée, mais génèrent des délais et des coûts.

Chapitre 3

La prévision de la demande

1. Objectifs et contraintes de la prévision de la demande

L'idéal pour une entreprise serait évidemment de produire exactement les produits que ses clients vont acheter mais, sauf dans le cas très spécial où l'entreprise commence à approvisionner et à fabriquer à partir de la réception de la commande du client, ce n'est pas du domaine du possible. Il faut qu'elle anticipe un minimum les futures commandes de ses clients. Ainsi, afin de prendre les décisions relatives à son bon fonctionnement et à sa pérennité, toute entreprise, quelles que soient sa nature et sa typologie commerciale, doit s'appuyer sur un système de prévisions fiables. Selon le type de décisions à prendre, ce dernier devra être à long, moyen ou court terme.

1.1 Objectif de la prévision de la demande

Les prévisions à *long terme* (supérieures à trois ans) ont un rôle au niveau stratégique de l'entreprise : diversification, produits nouveaux, investissement ou désinvestissement en équipements.

À *moyen terme* (de l'ordre de six mois à deux ans), les prévisions permettront de définir et maîtriser les capacités globales de production et d'approvisionnement. Il n'est pas question d'envisager la construction d'une usine mais l'acquisition d'une machine, l'embauche de personnel ou l'approvisionnement d'articles à long délai d'acquisition.

Les prévisions à *court terme* (jusqu'à six mois) serviront à l'activité opérationnelle de production : d'une part, approvisionnement et gestion des stocks, d'autre part, charge des ateliers et ordonnancement, correspondant à des ajustements des activités planifiées. Plus les prévisions concernent le court terme, plus elles sont fiables car elles se réfèrent à un futur proche. Au contraire, des prévisions à plus long terme seront plus incertaines.

Remarquons immédiatement que la notion de court, moyen ou long terme dépend du type d'activité et des produits de l'entreprise ; ainsi les durées ne sont-elles citées qu'à titre d'exemple.

L'activité de prévision est le point de départ de la planification. Toute activité de production est fondée sur des commandes fermes et des prévisions de commandes. Le plus souvent, le second point est très majoritaire surtout lorsqu'on s'éloigne dans l'horizon de planification. Pour l'entreprise, ces prévisions ont pour objet de définir ce qu'il faudra produire et quand il faudra le produire. Précisons que, dans un environnement instable – comme c'est le cas aujourd'hui –, la prévision est difficile. Toutefois, mieux vaut prévoir même avec incertitude que de ne pas le faire !

Pour étayer cette affirmation, il est intéressant de proposer un exemple ; considérons le cas d'une entreprise qui réalise un produit dont les quantités vendues dans les derniers mois d'activité ont été les suivantes :

Période	Quantités vendues (Q _i)
Janvier	100
Février	150
Mars	150
Avril	150
Mai	160
Juin	120
Juillet	100
Août	100
Septembre	120
Octobre	150
Novembre	160
Décembre	140

Si on cherche à déterminer le stock de sécurité que l'entreprise doit constituer sur ce produit pour assurer un taux de service client de 97,72 %, on ne va se baser que sur la dispersion observée au niveau des ventes passées pour l'estimer puisque c'est la seule information que l'on possède.

Le calcul va être le suivant :

$$SS = 2\sigma_{n-1}(Q_i) \quad (\text{cf. chap. 5 pour les modalités de calcul})$$

$$SS = 2 \times 23,86 = 47,73 \quad (\text{d'un stock de sécurité})$$

Il faut donc constituer un stock de sécurité de 48 produits pour assurer un taux de service client de 97,72 %.

Supposons maintenant que l'entreprise avait effectué des prévisions sur cette période. Pour réaliser la prédiction des ventes, on a intégré les grandes tendances connues du marché, par exemple, un mois de janvier toujours plus ou moins atone et une période creuse en été dans l'exemple que nous avons pris. On dispose donc des informations suivantes :

Période	Quantités vendues (Q_i)	Prévisions (P_i)	Erreurs de prévision $E_i = (Q_i - P_i)$
Janvier	100	95	5
Février	150	160	- 10
Mars	150	140	10
Avril	150	150	0
Mai	160	150	10
Juin	120	130	- 10
Juillet	100	110	- 10
Août	100	90	10
Septembre	120	100	20
Octobre	150	150	0
Novembre	160	150	10
Décembre	140	150	- 10

Grâce aux prévisions, on va pouvoir calculer le stock de sécurité, non pas sur les ventes passées ou les prévisions effectuées, mais sur les erreurs de prévisions. Le stock de sécurité ne sera là que pour couvrir les erreurs de prévisions toujours pour un taux de service client égal à 97,72 %.

Cela nous donne le calcul suivant :

$$SS = 2\sigma_{n-1}(E_i)$$

$$SS = 2 \times 10,32$$

$$SS = 20,63 \text{ soit environ } 21 \text{ produits}$$

On voit bien dans ce cas particulier que le fait d'avoir réalisé des prévisions, même si elles ne sont pas complètement fiables, a permis de diviser le stock de sécurité par un peu plus de 2.

En effet, dans le premier calcul du stock de sécurité, toutes les variations - y compris celles attendues comme la baisse estivale - contribuent à augmenter l'écart type. Dans le second cas, les prévisions permettent au moins d'éliminer la partie des variations prévisibles. Cela contribue forcément à réduire l'écart type, et donc à diminuer le stock de sécurité.

1.2 Les éléments du choix

Dans toute approche de prévision, le choix de la méthode exige de se poser tout d'abord la question fondamentale suivante : *quel est l'objectif de mes prévisions ?* En effet, de nombreux facteurs vont influencer sur ce choix. En premier lieu, il est indispensable de savoir si les prévisions sont à long terme pour définir les choix stratégiques de l'entreprise ou si nous nous plaçons à moyen et court terme pour gérer les domaines opérationnels, ces derniers étant plus rapprochés dans le temps. Après avoir vu quelques notions générales sur les prévisions, nous dirons quelques mots de méthodes utiles pour le long terme, puis nous examinerons plus en détail des méthodes ayant trait à la prévision de la demande à moyen et court terme.

Outre la question fondamentale susmentionnée, les éléments permettant de choisir une méthode de prévision dépendent eux-mêmes de nombreux facteurs. Voici les plus importants d'entre eux :

- les *données historiques* disponibles à propos du produit ou de la famille de produits considéré(e) ;
- la *précision* souhaitée sur les prévisions ;
- le *coût* accepté pour établir les prévisions ;
- le *temps* disponible pour les obtenir.

Une prévision est par nature imprécise. Toutefois, par compensation, une *prévision agrégée* est plus sûre. Ainsi, une prévision portant sur des périodes plus longues (mois par exemple) sera plus précise que celle qui sera établie sur des périodes courtes (semaines), et un regroupement de produits (famille) donnera une prévision plus précise que cela est possible par produit individuel (il est, par exemple, plus facile d'évaluer le nombre de tables qui seront commandées par nos clients au mois de mai que d'évaluer séparément les commandes de tables bleues, rouges et vertes dans la semaine 20 !). La prévision devra être d'autant plus agrégée qu'elle est à plus long terme.

1.3 Les sources de données

Les sources de données correspondent aux deux familles de méthodes de prévisions : d'une part, celles fondées sur des données relevées dans le passé que l'on modélise pour faire une projection dans le futur et d'autre part celles, purement prédictives, établies par des experts interrogés.

La source privilégiée de données est un *historique de données* concernant un produit. Cette base permet d'effectuer une prévision si, évidemment, on estime qu'il existe un lien entre l'évolution de la demande passée (données enregistrées) et celle de la demande à prévoir.

Les *autres sources de données* sont constituées par les études de marché, les avis d'experts, le suivi des commerciaux, les enquêtes auprès des clients... Mais ces données sont plus délicates à manipuler et à interpréter ; en revanche, elles constituent un complément sûr à un historique ; sans compter que, si l'on ne dispose pas d'historique, c'est la seule source utilisable.

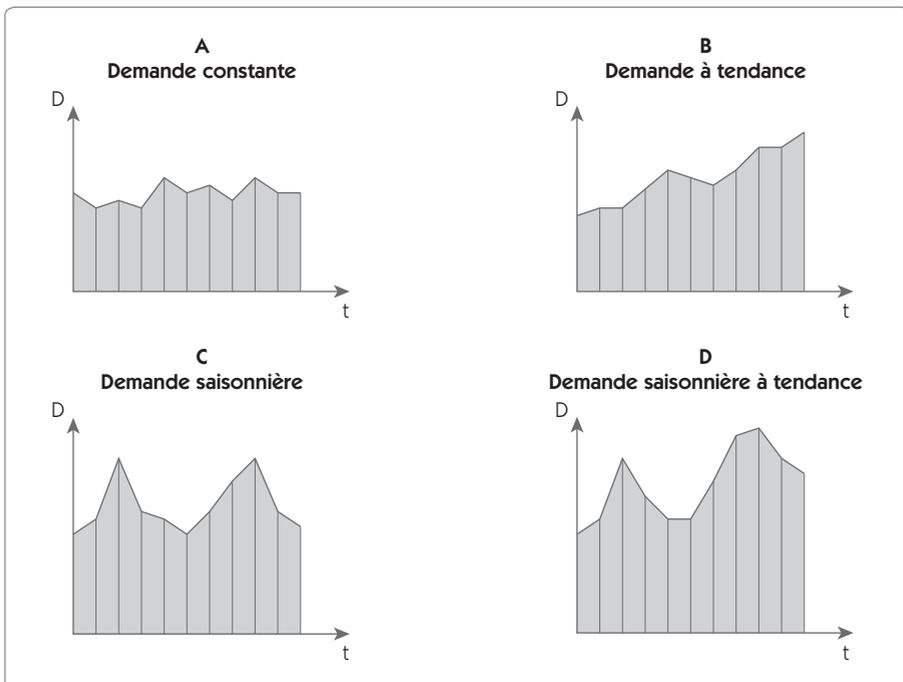
1.4 Typologie de la demande

Les graphiques de la figure 3.1 définissent schématiquement les caractéristiques de la demande :

- demande *constante* (A) si elle oscille statistiquement autour d'une valeur moyenne constante dans le temps, la moyenne de $D = f(t)$ est une droite horizontale ;
- demande à *tendance* (B) s'il y a oscillation autour d'une valeur croissante ou décroissante dans le temps, $D = f(t)$ est une droite à pente positive ou négative ;
- demande *saisonnière* (C) si elle présente des variations nettement plus importantes, en hausse et en baisse, d'une manière périodique. Il peut s'agir d'un pic de la demande en hiver (lié à la neige par exemple) ou en été (vacances) mais il peut aussi s'agir de variations saisonnières plus subtiles (petit outillage électrique avec pics à la fête des pères et à Noël) ;

- demande *saisonnière et à tendance* (D) si les pics et les creux sont disposés autour d'une droite non horizontale ;
- demande *erratique* (non représentée sur la figure 3.1) si les valeurs sont totalement aléatoires dans le temps.

Figure 3.1 – Typologie de la demande



2. Les méthodes de prévision

2.1 Généralités sur les méthodes de prévision

On distingue deux grands types de méthodes de prévision : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives. Les techniques *qualitatives* font appel à une méthodologie non mathématique (mais elles peuvent impliquer des valeurs numériques). Les techniques *quantitati-*

ves 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.

2.2 Les méthodes qualitatives

Les méthodes qualitatives sont principalement utilisées pour la prévision à moyen ou long terme. Elles sont avant tout destinées à des décisions de mercatique avec des données provenant *d'études de marché* ou *d'intentions d'achats* à travers notamment l'interrogation et le traitement de prévisions du réseau de distribution. Il s'agit de techniques excellentes dans ce domaine. Pour les utiliser à des fins de planification, il faudra être prudent et ne les utiliser qu'en complément d'autres informations.

La méthode de Delphes consiste à interroger des experts sur une question, et ce indépendamment les uns des autres afin d'éviter toute influence forte directe. Le coordinateur remet l'ensemble des réponses aux experts qui peuvent modifier et compléter leur proposition. Après deux ou trois cycles de ce type, on parvient à une proposition de consensus efficace, ou éventuellement à des divergences argumentées. Cette technique n'est pas adaptée à une prévision à court terme d'un article, mais au contraire à une décision de stratégie à long terme.

Lorsqu'on doit prévoir la demande d'un *nouveau produit*, les données historiques n'existent pas. On peut alors utiliser les données existantes d'un produit analogue. Il faut évidemment considérer un produit au comportement suffisamment proche.

Nous ajouterons à ces éléments *l'estimation du manager* fondée sur son intuition à partir de nombreux faits souvent peu formalisés, qui constituent son savoir-faire et sa connaissance du domaine. Si ce jugement subjectif ne peut remplacer une technique mathématique basée sur de bonnes données, en revanche, il peut rendre d'excellents services si les seules données sont de piètre qualité.

2.3 Les méthodes quantitatives

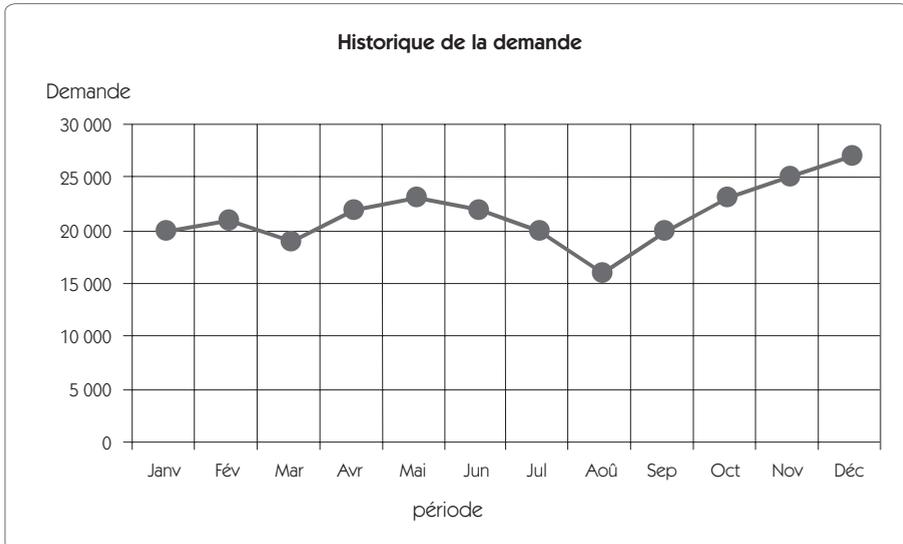
2.3.1 Représentation graphique

C'est un préalable simple et explicite aux autres méthodes. Elle présente l'énorme avantage d'être très visuelle car d'un coup d'œil elle permet de résumer la prévision et de mettre le bon sens en éveil. De plus, par extrapolation de la courbe des consommations passées, on peut obtenir une estimation de la demande à venir.

Les figures 3.2 et 3.3 donnent un relevé de valeurs (nombre de produits vendus) sur un an, et sa représentation graphique.

Figure 3.2 - Relevé des valeurs de la demande pendant un an

Période	N° période	Demande
Janvier	1	20 000
Février	2	21 000
Mars	3	19 000
Avril	4	22 000
Mai	5	23 000
Juin	6	22 000
Juillet	7	20 000
Août	8	16 000
Septembre	9	20 000
Octobre	10	23 000
Novembre	11	25 000
Décembre	12	27 000
Total		258 000

Figure 3.3 – Représentation graphique de l'historique de la demande

2.3.2 Méthode de décomposition

Le niveau de base de la demande est la moyenne de la série de données prévues à une date déterminée. C'est une loi stationnaire qui, selon les concepts introduits au paragraphe 1.4, sera complétée avec les éléments suivants :

- une *tendance* T donnant l'évolution à moyen terme de la demande ;
- des *variations saisonnières* S dues à des modifications périodiques de la demande liées à la nature du produit et à son utilisation ;
- des *éléments résiduels* R dus à de nombreuses causes autres que les précédentes (modifications climatiques inattendues, épidémies, grève, apparition d'un nouveau client sur le marché, mode...).

La demande pour une période n peut alors s'exprimer sous deux formes :

- une forme additive de ces différents éléments où
 $D_n = T_n + S_n + R_n$;
- une forme multiplicative de ces éléments avec
 $D_n = T_n \times S_n \times R_n$.

Nous avons choisi de développer ici la forme multiplicative qui est la plus fréquente.

Estimation de la tendance T

On peut définir une droite de tendance par la méthode des moindres carrés. Cela consiste à retenir parmi toutes les droites du plan étudié celle qui minimise la somme des carrés des écarts des points observés à la droite.

L'équation de cette droite, exprimant la demande D en fonction du numéro de la période n , est du type

$$D = a \times n + b$$

$$\text{avec } a = \frac{N \sum n D_n - \sum n \sum D_n}{N \sum n^2 - (\sum n)^2}$$

$$\text{et } b = \frac{\sum D_n}{N} - a \frac{\sum n}{N}$$

où N est le nombre de périodes de l'historique des données.

Facile à calculer à partir d'un tableur, cette droite est représentée sur la figure 3.4 en comparaison des valeurs historiques précédentes. On pourra donc représenter l'évolution de la tendance par l'équation :

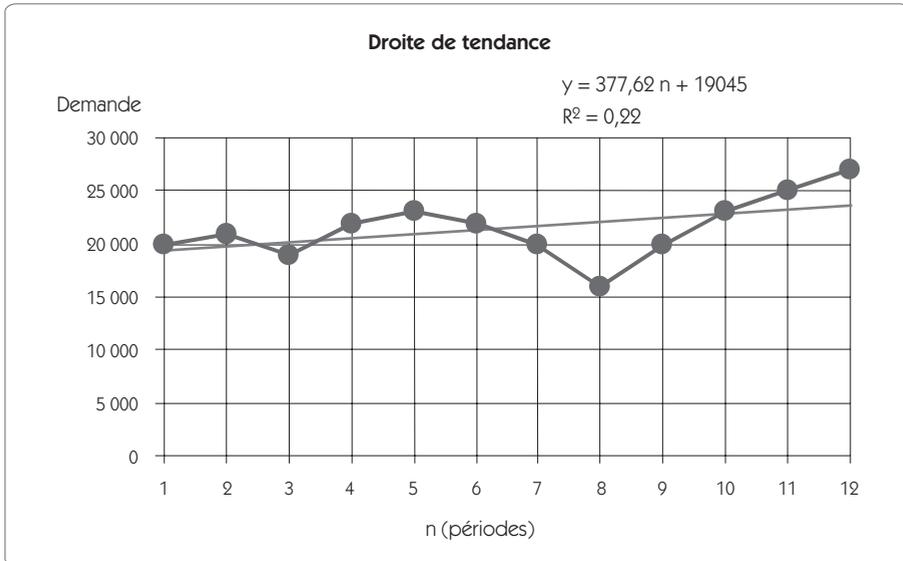
$$D_t = 378 n + 19\,045$$

où

D_t représente la prévision de la demande en tenant compte que de la tendance

n : le numéro de la période considérée.

Le coefficient R^2 de 0,22 signifie que 22 % de la variance (carré de l'écart type) de la demande peuvent être expliqués par l'équation de la droite. Les 78 % restants doivent être expliqués par d'autres éléments (variations saisonnières, caractère aléatoire...).

Figure 3.4 – Droite de tendance et données historiques

On notera que des données historiques tronquées peuvent conduire à une droite de tendance mathématiquement correcte, mais ne représentant pas la demande réelle (notamment lorsqu'il y a des variations saisonnières). Pour éviter cela, il faut disposer de suffisamment de données dans le temps (deux ou trois ans). De plus, la représentation graphique mettra le bon sens en alerte !

Par ailleurs, on peut remplacer la droite de régression par une courbe plus élaborée, établie au sens des moindres carrés des écarts. Mais est-ce bien utile de se compliquer la tâche ?

Estimation des variations saisonnières

Les variations saisonnières sont traduites par des coefficients représentant les écarts à la valeur de base. Les indices saisonniers représentent, pour chaque période élémentaire, le rapport entre la demande réelle constatée et une moyenne globale évaluée sur l'ensemble, correspondant à une valeur « désaisonnalisée ».

Reprenons l'exemple précédent. Il faut tout d'abord déterminer la période sur laquelle nous allons travailler. L'observation de la série chronologique fait apparaître des variations sensiblement trimestrielles et on choisit une période de trois mois à partir de janvier. La moyenne globale donne la valeur « désaisonnalisée » suivante : $258\ 000 / 12 = 21\ 500$. Pour le premier trimestre, la moyenne mensuelle de la demande est de 20 000 produits par mois ; cela donne un coefficient de saisonnalité de $20\ 000 / 21\ 500 = 93\ %$. Le tableau 3.5 indique le calcul des indices de saisonnalité.

Figure 3.5 – Calcul des coefficients de saisonnalité

	1 ^{er} trimestre	2 ^e trimestre	3 ^e trimestre	4 ^e trimestre
Demande totale	60 000	67 000	56 000	75 000
Moyenne mensuelle	20 000	22 333	18 667	25 000
Coeff. de saison.	93,0 %	103,9 %	86,8 %	116,3 %

Éléments résiduels et prévision

Nous avons exprimé la demande pour la période n par le produit :

$$D_n = T_n \times S_n \times R_n$$

Nous venons d'évaluer les termes T_n et S_n exprimant respectivement la tendance et la saisonnalité. R_n représente tout ce qui n'est pas pris en compte par ces deux facteurs. Il s'agit d'éléments aléatoires non identifiés et qui ne se reproduiront pas selon notre modèle. Nous sommes donc obligés de ne prendre pour prévision que le produit $T_n \times S_n$ (figure 3.6).

Figure 3.6 – Vérification du modèle

Périodes	D_n	$T_n = 378n + 19\ 045$	S_n	$P_n = T_n \cdot S_n$
Janvier	20 000	19 421	93,0 %	18 062
Février	21 000	19 799	93,0 %	18 413
Mars	19 000	20 177	93,0 %	18 765
Avril	22 000	20 555	103,9 %	21 357
Mai	23 000	20 933	103,9 %	21 749
Juin	22 000	21 311	103,9 %	22 142
Juillet	20 000	21 689	86,8 %	18 826
Août	16 000	22 067	86,8 %	19 154
Septembre	20 000	22 445	86,8 %	19 482
Octobre	23 000	22 823	116,3 %	26 543
Novembre	25 000	23 201	116,3 %	26 983
Décembre	27 000	23 579	116,3 %	27 422

Exemple d'utilisation de la méthode de décomposition

Le tableau 3.7 montre la prévision de la demande estimée pour mars et août prochains à l'aide du modèle construit ci-avant.

Figure 3.7 – Demande estimée à l'aide du modèle

Période	n	$T_n = 378n + 19\ 045$	S_n	P_n
Mars N + 1	15	24 715	93,0 %	22 985
Août N + 1	20	26 605	86,8 %	23 093

Cette méthode implique un stockage de données et de nombreux calculs, mais elle est simple à utiliser à l'aide d'un ordinateur et peu coûteuse. Les prévisions seront correctes si les demandes ne sont affectées que par les deux facteurs considérés et si, de plus, la tendance est régulière et la saisonnalité reproductible.

2.3.3 Méthode des moyennes mobiles

Cette méthode a deux utilisations :

- elle permet d'établir une prévision de la demande ;
- elle sert également à lisser des données utilisées avec d'autres méthodes de prévision.

On estime *la prévision de la demande* pour une certaine période à partir des valeurs connues pour les quelques périodes précédentes. Prenons le cas d'une moyenne mobile à trois périodes. Dans ce cas, la demande de la période 8 est calculée à partir des consommations des périodes 5, 6 et 7 selon :

$$P_8 = (D_5 + D_6 + D_7)/3$$

Puis de période en période on estimera P_9 à partir de D_6 , D_7 et D_8 , puis P_{10} ... (d'où le nom de la méthode). Le tableau 3.8 illustre la méthode avec, par exemple, $P_8 = (41,7 + 42,5 + 36,7)/3 = 40,3$.

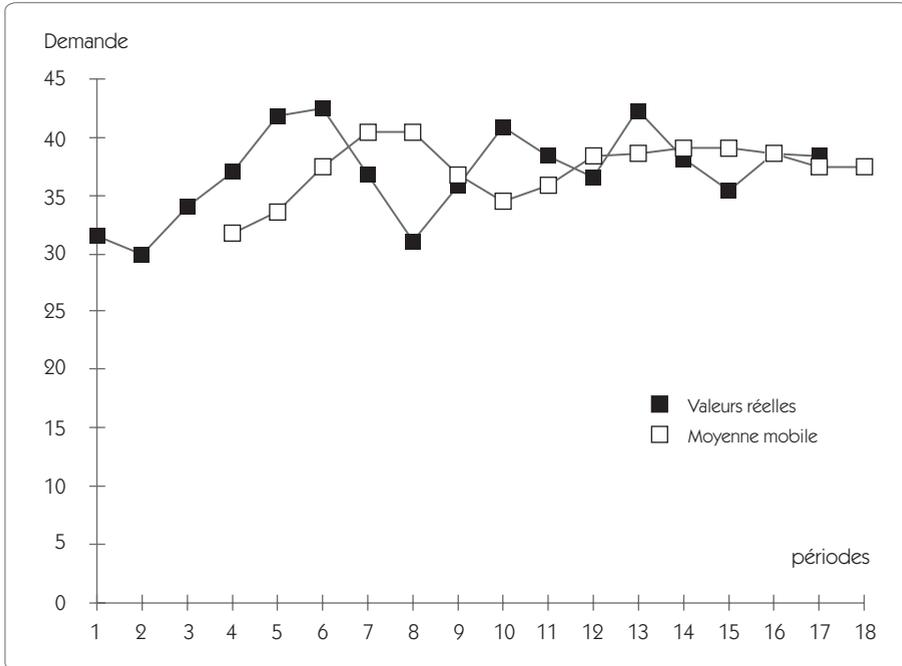
Figure 3.8
Exemple de prévision par moyenne mobile à trois périodes

Périodes	Demande réelle	Moyenne mobile
1	31,6	
2	30,0	
3	33,9	
4	37,0	31,8
5	41,7	33,6
6	42,5	37,5
7	36,7	40,4
8	31,0	40,3
9	35,8	36,7
10	40,9	34,5
11	38,3	35,9
12	36,5	38,3
13	42,3	38,6
14	38,2	39,0
15	35,4	39,0
16	38,6	38,6
17	38,4	37,4
18		37,5

Utilisation de la moyenne mobile

La méthode des moyennes mobiles implique un stockage important de données et un certain nombre de calculs, mais elle est simple à mettre en œuvre sur un ordinateur et elle est peu coûteuse. Son inconvénient est de « traîner » derrière l'évolution de la consommation passée puisque, à tout instant, on ne prend en compte que des moyennes de valeurs antérieures. Ce phénomène est illustré sur la figure 3.9 qui correspond aux valeurs du tableau 3.8.

Figure 3.9 – Moyenne mobile « traînant » derrière les valeurs réelles



Comme annoncé en début de ce paragraphe, on peut également, à l'aide de la moyenne mobile, effectuer un *lissage de données* destinées à d'autres méthodes. On évite ainsi d'introduire des points anormaux qui risqueraient de perturber les estimations de la demande. On remplace, par exemple D_5 par D'_5 :

$$D'_5 = (D_4 + D_5 + D_6)/3$$

et de même pour $D'_6, D'_7...$

Le nombre de périodes impliquées (ci-avant trois) conduit, évidemment, à un lissage plus ou moins important des données.

Remarque : moyenne mobile pondérée

Lors d'une prévision, on peut affecter des *poids* différents aux données afin de favoriser les plus récentes au lieu de mettre sur le même plan les diverses valeurs, par exemple :

$$\begin{aligned}
 P_8 &= (2 D_5 + 3 D_6 + 4 D_7)/(2 + 3 + 4) \\
 &= (2 D_5 + 3 D_6 + 4 D_7)/9
 \end{aligned}$$

donne une importance double (4/2) à la donnée D_{n-1} vis-à-vis de D_{n-3} et une fois et demie (3/2) à la donnée D_{n-2} . La somme des poids doit évidemment être égale à 1.

2.3.4 Méthodes de lissage exponentiel

Lissage exponentiel simple

Cette méthode est probablement la plus connue pour la prévision de la demande des articles. La prévision pour la période n est celle de la période $n-1$ corrigée proportionnellement à l'écart $D_{n-1} - P_{n-1}$ entre la demande réelle et la prévision qui avait été faite pour la période précédente :

$$P_n = P_{n-1} + \alpha (D_{n-1} - P_{n-1})$$

où α est un coefficient compris entre 0 et 1.

Si $\alpha = 0$, on considère que la prévision de n est la même que celle de $n-1$. Au contraire, si $\alpha = 1$, on prend comme prévision de la période n la demande réelle de la période $n-1$, en effet :

$$P_n = P_{n-1} + D_{n-1} - P_{n-1} = D_{n-1}$$

Une valeur de α se rapprochant de 1 conduit donc à favoriser les demandes réelles récentes, comme cela sera illustré dans le tableau 3.10.

On peut montrer aisément que cette méthode implique les demandes réelles passées :

$$P_n = P_{n-1} + \alpha(D_{n-1} - P_{n-1}) = \alpha D_{n-1} + (1 - \alpha)P_{n-1}$$

$$\text{or } P_{n-1} = P_{n-2} + \alpha(D_{n-2} - P_{n-2}) = \alpha D_{n-2} + (1 - \alpha)P_{n-2}$$

$$\text{donc } P_n = \alpha D_{n-1} + \alpha(1 - \alpha)D_{n-2} + (1 - \alpha)^2 P_{n-2}$$

de proche en proche on arrive à :

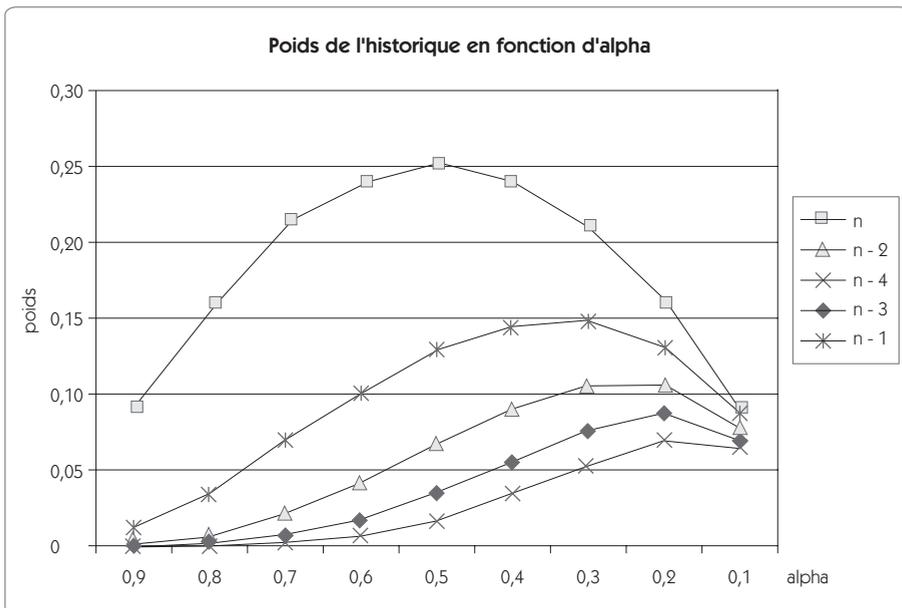
$$P_n = \alpha D_{n-1} + \alpha(1 - \alpha)D_{n-2} + \alpha(1 - \alpha)^2 D_{n-3} + \dots$$

La méthode du lissage exponentiel effectue donc une moyenne mobile pondérée où les coefficients affectés aux données passées sont reliés par une loi de décroissance exponentielle. En pratique, la relation entre le coefficient α et une moyenne mobile à N périodes est approximativement donnée par $\alpha = 2/(N + 1)$.

Le tableau 3.10 rappelle les poids successifs attribués aux données et fournit ces poids pour trois valeurs caractéristiques du coefficient α .

Figure 3.10 – Décroissance des poids pour différentes valeurs de α

Période	n	n - 1	n - 2	n - 3	n - 4
Poids	α	$\alpha(1 - \alpha)$	$\alpha(1 - \alpha)^2$	$\alpha(1 - \alpha)^3$	$\alpha(1 - \alpha)^4$
$\alpha = 0,9$	0,9	0,09	0,009	0,0009	0,00009
$\alpha = 0,3$	0,3	0,21	0,147	0,1029	0,07203
$\alpha = 0,1$	0,1	0,09	0,081	0,0729	0,06561



Le coefficient α est défini empiriquement ou d'une manière plus scientifique par la méthode des moindres carrés. Sa valeur permet de régler la sensibilité du système.

Lissages exponentiels multiples

La méthode du lissage exponentiel peut être employée avec deux coefficients α et β si la demande est à tendance (lissage exponentiel double). Nous appellerons tendance instantanée la variation de prévision d'une période à la suivante :

$$t_n = P_n - P_{n-1}$$

On effectue alors un lissage exponentiel de la tendance :

$$T_n = \beta.t_n + (1 - \beta)T_{n-1}$$

Nous n'entrerons pas plus dans le détail du lissage exponentiel double et nous demanderons au lecteur d'admettre que la prévision corrigée s'exprime par :

$$P'_n = P_n + \frac{1 + \alpha}{2\alpha} T_n$$

Il est également possible d'effectuer un lissage exponentiel des coefficients saisonniers en introduisant un coefficient γ . Le lissage exponentiel comporte alors trois coefficients α , β et γ . Il est ainsi appelé lissage exponentiel triple.

Là encore, les modèles employés sont faciles à mettre en œuvre sur ordinateur et peu coûteux. Ils nécessitent, comme les précédents, de disposer de données historiques suffisamment étoffées.

2.3.5 Autres modèles mathématiques

De nombreux autres modèles mathématiques plus complexes sont utilisés pour réaliser des prévisions de la demande. Certains modèles recherchent des corrélations entre données à divers intervalles fixés ou cherchent des corrélations entre facteurs. On peut, par exemple, chercher à lier la demande de produits à celle de secteurs économiques associés par des régressions simples ou multiples. On définit ainsi des

modèles économétriques fondés sur des expressions analytiques. Ces traitements plus complexes débordent le cadre que nous nous sommes fixé dans cet ouvrage.

3. Erreurs et incertitude sur les prévisions

Une prévision est par nature incertaine. Il ne faut pas confondre incertitude et erreur. Il peut naturellement y avoir erreur... si on se trompe en prenant des données inexactes, en calculant ou en utilisant mal les méthodes !

Nous pouvons évaluer la qualité des prévisions au moyen de deux valeurs complémentaires : l'erreur moyenne e et l'écart moyen absolu MAD .

L'erreur moyenne est définie par :

$$e = \frac{\sum (D_i - P_i)}{n}$$

Cet indicateur signale la présence ou l'apparition d'un biais systématique : prévision en moyenne trop forte ou trop faible. On peut donc apprécier le centrage statistique du modèle : un modèle correct avec variations aléatoires donnera une valeur nulle de e .

Puisque des termes de signes contraires, même importants, peuvent se compenser au moins partiellement pour donner une valeur de e qui semble acceptable, on définit l'écart moyen absolu (que nous noterons MAD , pour *Mean Absolute Deviation*, en anglais) :

$$MAD = \frac{\sum |D_i - P_i|}{n}$$

qui évite ces compensations et contrôle l'écart entre demande réelle et prévision. Le tableau 3.11 illustre le calcul de l'erreur moyenne et de la MAD sur un nombre réduit de données.

Remarque : MAD et écart type

La MAD est simple à calculer. Elle est souvent utilisée à la place de l'écart type. Il faut connaître la correspondance facile à retenir $3\sigma = 4MAD$ (ce qui correspond à un filtre à 99,7 % pour une loi normale, c'est-à-dire où le risque d'accepter une valeur à rejeter est inférieure à 0,3 %). On pourra utiliser cette grandeur pour évaluer les stocks de sécurité permettant de couvrir l'incertitude de la prévision.

Figure 3.11 – Erreur moyenne et MAD

D_i	P_i	$D_i - P_i$	$ D_i - P_i $
150	153	- 3	3
146	155	- 9	9
156	147	9	9
152	145	7	7
145	155	-10	10
146	154	- 8	8
153	148	5	5
157	146	11	11
	Σ	2	62

$$\text{d'où} \quad e = 2/8 = 0,25$$

$$\text{et} \quad MAD = 62/8 = 7,75$$

MAD lissée

On préfère parfois calculer la MAD lissée (lissage exponentiel) :

$$MAD_i = b|D_i - P_i| - (1 - b)MAD_{i-1}$$

On choisit un coefficient b petit (par exemple 0,1), ce qui assure un lissage à long terme de la MAD. Avec les données précédentes, on obtient :

Figure 3.12 – MAD lissée

D_i	P_i	$ D_i - P_i $	n	$(\sum D_i - P_i)/n$	MAD_i
150	153	3	1	3,00	0,30
146	155	9	2	6,00	1,17
156	147	9	3	7,00	1,95
152	145	7	4	7,00	2,46
145	155	10	5	7,60	3,21
146	154	8	6	7,67	3,69
153	148	5	7	7,29	3,82
157	146	11	8	7,75	4,54

Qualité du modèle de prévision

L'observation simultanée de e et MAD permet d'avoir une bonne idée de la qualité du modèle de prévision. Afin de maîtriser un système de prévision de nombreux articles, il faut mettre en place des fourchettes pour ces indicateurs. Le suivi de ces indicateurs et de leur comportement nous alertera d'une quelconque modification et nous permettra de réagir.

Un autre indicateur utilisé pour prévenir d'un processus de prévision qui devient hors contrôle est le *signal d'alerte* suivant :

$$A_i = \frac{\sum (D_i - P_i)}{MAD_i}$$

Cette valeur peut naturellement être positive ou négative, mais doit rester dans des limites raisonnables et non biaisées (systématiquement négative ou positive). D'une manière analogue à un contrôle statistique de la qualité où l'on souhaite une valeur dans une fourchette de plus ou moins trois écarts types, si le signal d'alerte A_i dépasse quatre en valeur absolue (car $3\sigma = 4MAD$), on soupçonnera un changement dans la demande. Il nous restera à en rechercher les causes et à modifier le modèle. Le tableau 3.13 illustre le calcul de A_i sur les quelques données précédentes. On remarquera les valeurs très élevées de A_i en

tête du tableau. C'est tout à fait normal car les écarts étaient initialement supposés nuls... ce qui correspond bien à une modification du modèle !

Figure 3.13 – Calcul du signal d'alerte A_i

D_i	P_i	$D_i - P_i$	$\Sigma (D_i - P_i)$	A_i
150	153	- 3	- 3	- 10,0
146	155	- 9	- 12	- 10,2
156	147	9	- 3	- 1,5
152	145	7	4	1,6
145	155	- 10	- 6	- 1,9
146	154	- 8	- 14	- 3,8
153	148	5	- 9	- 2,4
157	146	11	2	0,4

4. Conclusion

Nous n'avons nulle intention dans cet ouvrage de donner un panorama exhaustif des méthodes de prévision, mais bien de fournir un aperçu des différents types de méthodes. Les méthodes classiques sont rapides et peu coûteuses. Elles donnent des informations intéressantes à court terme mais moins fiables dès qu'on s'éloigne dans le temps. Les modèles plus complexes et plus récents sont beaucoup plus coûteux mais fournissent en général des prévisions valables à plus long terme. Il reste du ressort de chaque entreprise de choisir la méthode qui lui conviendra en fonction de l'objectif fixé, ainsi que des critères de données et de coûts décrits en début de chapitre. De même, il lui appartiendra de vérifier la validité du modèle au moyen d'indicateurs.

Tous les modèles de prévision évoqués ont été intégrés à des logiciels. Certains progiciels comportent plusieurs méthodes et proposent même un choix à l'utilisateur s'il le désire. Soulignons toutefois qu'il est

indispensable de bien connaître les problèmes de la prévision de la demande et de ne pas faire une confiance aveugle à un traitement automatique. L'expérience, l'intuition et le bon sens seront des facteurs fondamentaux pour réaliser une bonne prévision et détecter toute anomalie.

Chapitre 4

Les méthodes de gestion de projets

1. Introduction

Gérer un projet, cela signifie traditionnellement ordonner, ordonnancer les différentes tâches qui vont permettre de mener à bien le projet.

Cette idée fait habituellement référence à des projets unitaires à lancement répétitif ou non, comme la conception-fabrication d'un supertanker, d'une université ou encore d'un chantier de travaux publics.

Mais, depuis quelque temps, avec l'apparition de l'ingénierie simultanée (*simultaneous engineering* ou *concurrent engineering*), les idées évoluent. On gère aujourd'hui la conception-fabrication d'une automobile ou d'une gamme de caméscopes comme un projet. Une équipe-projet, comprenant des hommes du commercial, du bureau d'études, des méthodes, de la fabrication, de la gestion de production et de la qualité, est constituée dès le départ du projet et va suivre celui-ci jusqu'à son aboutissement.

Pour organiser et gérer les différentes phases d'un projet traditionnel ou non, il est nécessaire d'utiliser des méthodes, et les méthodes Gantt et PERT, que nous allons développer dans ce chapitre, reviennent au goût du jour !

1.1 Fonctions de la gestion de projet

Dans la gestion de projet, on peut distinguer trois fonctions principales :

- **Planification** des différentes opérations à réaliser sur la période déterminée ; des moyens matériels et humains à mettre en œuvre pour réaliser le projet...
- **Exécution**, c'est-à-dire mise en œuvre des différentes opérations prédéfinies et suivi de celles-ci.
- **Contrôle** par comparaison de la planification et de la réalisation ; calcul d'écart et analyse de ceux-ci, ce qui peut entraîner certaines modifications dans la réalisation du projet.

Pour assurer correctement la réalisation de ces fonctions, il est nécessaire de :

1. définir de manière très précise le projet ;
2. définir ensuite un responsable du projet auquel on rendra compte de l'avancement du projet et qui prendra les décisions importantes ;
3. analyser le projet par grands groupes d'opérations à réaliser pour avoir une idée relativement précise de son étendue et de toutes ses ramifications ;
4. détailler les différents groupes d'opérations et préciser leur enchaînement et leur durée ;
5. rechercher les coûts correspondants, ce qui peut remettre en cause certains éléments du projet qu'on va être amené à modifier ;
6. effectuer des contrôles périodiques pour vérifier que le système ne dérive pas et prendre les mesures qui s'imposent.

1.2 But de la gestion de projet

Pour chaque projet, il va s'agir de déterminer le programme optimal d'utilisation des moyens de conception-fabrication permettant de satisfaire au mieux les besoins des clients.

On va donc essayer de faire en sorte que les moyens humains et matériels soient utilisés de la meilleure façon possible tout en essayant de respecter autant que faire se peut les délais.

Pour établir ce programme, il faudra par ailleurs tenir compte d'un certain nombre d'éléments auxquels l'entreprise est soumise dans le cadre de sa politique en matière de production comme :

- la minimisation de tous les types de stocks ;
- la minimisation des coûts ;
- la diminution des délais de fabrication ;
- la qualité des produits ;
- le plein emploi des ressources...

Certains éléments sont contradictoires ; il faudra savoir arbitrer et prendre les bonnes décisions.

2. La méthode Gantt

C'est une méthode fort ancienne puisqu'elle date de 1918 et pourtant encore très répandue mais sous des formes et sur des applications résolument modernes.

Elle consiste à déterminer la meilleure manière de positionner les différentes tâches d'un projet à exécuter, sur une période déterminée, en fonction :

- des durées de chacune des tâches ;
- des contraintes d'antériorité existant entre les différentes tâches ;
- des délais à respecter ;
- des capacités de traitement.

2.1 Présentation de la technique Gantt

Comme nous l'avons détaillé précédemment, il faut commencer par :

- se fixer le projet à réaliser ;
- définir les différentes opérations à réaliser ;
- définir les durées de chacune des opérations ;
- définir les liens entre ces opérations.

Nous avons choisi un exemple excessivement simple pour expliquer la manière dont un Gantt se construit. Supposons qu'on cherche à ordonner la réalisation des 5 tâches d'un projet ayant les caractéristiques décrites ci-après.

Tâches à réaliser

Tâche A : durée 3 jours

Tâche B : durée 6 jours

Tâche C : durée 4 jours

Tâche D : durée 7 jours

Tâche E : durée 5 jours

Liens entre les opérations

Pour respecter la suite logique des opérations, il est nécessaire de réaliser :

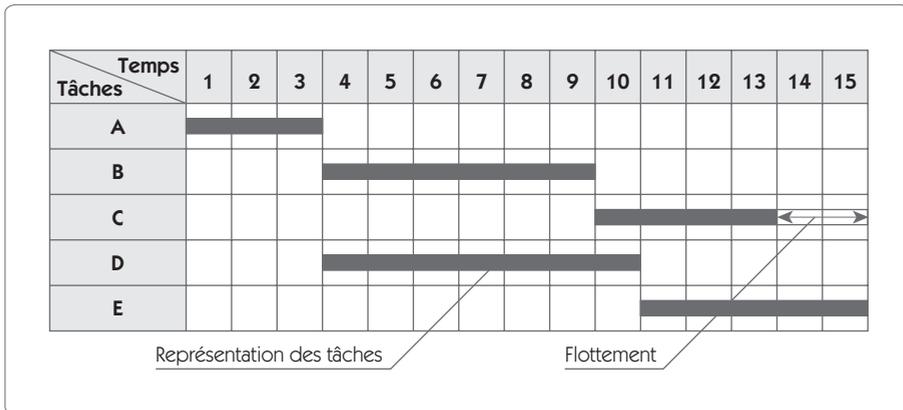
- B et D après A ;
- C après B ;
- E après D.

Le diagramme de GANTT se présente sous la forme d'un tableau quadrillé où chaque colonne correspond à une unité de temps et chaque ligne à une opération à réaliser.

On définit une barre horizontale pour chaque tâche, la longueur de celle-ci correspondant à la durée de la tâche. La situation de la barre sur le graphique est fonction des liens entre les différentes tâches.

La figure 4.1 illustre le diagramme de Gantt correspondant à l'exemple précédent.

Figure 4.1 – Présentation du Gantt sur un exemple



2.1.1 Critère de représentation classique du Gantt

On commence le plus tôt possible les tâches qui ne sont précédées d'aucune autre.

On représente ensuite les tâches ayant pour antérieures les tâches déjà représentées, et ainsi de suite...

On parle alors de *jalonement au plus tôt*. Cette situation conduit à créer des stocks et ne correspond donc pas à un système juste-à-temps.

Nous reviendrons au paragraphe 2.1.3 sur ce point.

2.1.2 Modes de gestion des priorités dans un Gantt

Pour définir les liens existant entre les différentes tâches d'un projet, on dispose de plusieurs possibilités :

- Priorité à la fabrication du produit ayant la date de livraison la plus rapprochée, pour respecter au mieux les délais.

- Première commande confirmée, première commande exécutée, pour ne pas mettre en fabrication des produits qui ne seront jamais vendus. Mais cette solution a un inconvénient majeur : elle conduit à créer des stocks et à ne pas répondre à la demande en fonction du délai.
- Priorité à l'opération dont la durée est la plus courte. Cette proposition peut sembler un peu surprenante. Elle est utilisée quand l'entreprise a de nombreuses urgences à gérer et à faire passer avant certaines opérations programmées. Le fait de faire passer en premier les opérations de plus courte durée lui permet d'intercaler entre celles-ci des opérations urgentes sans couper la dernière opération réalisée et ainsi d'économiser des changements de série.
- Priorité à la tâche ayant la plus petite marge.

Marge = temps restant jusqu'à la livraison – temps total d'achèvement du projet.

Cette situation permet de tenir compte à la fois du délai de livraison et du temps de fabrication.

- Priorité à la tâche ayant le ratio critique le plus faible.

Ratio critique = temps restant jusqu'à la livraison/somme des temps des opérations restant à effectuer.

Cette situation prend elle aussi en compte à la fois le délai de livraison et le temps de fabrication.

2.1.3 Flottement, jalonnement et chevauchement

Le diagramme de Gantt permet de *visualiser* l'évolution d'un projet, et de déterminer la durée globale de sa réalisation.

On peut mettre en évidence les *flottements* existant sur certaines tâches. Un flottement correspond au temps de retard qu'on peut prendre sur une tâche particulière sans pour autant augmenter la durée globale de réalisation du projet. Ce sont des éléments de flexibilité qui permettent à l'entreprise de perdre un peu de temps sans que cela ne prête à conséquence (figure 4.1).

Comme nous l'avons vu précédemment, le diagramme de Gantt classique consiste à représenter les opérations en les faisant démarrer le plus tôt possible, ce qu'on appelle *un jalonnement au plus tôt*.

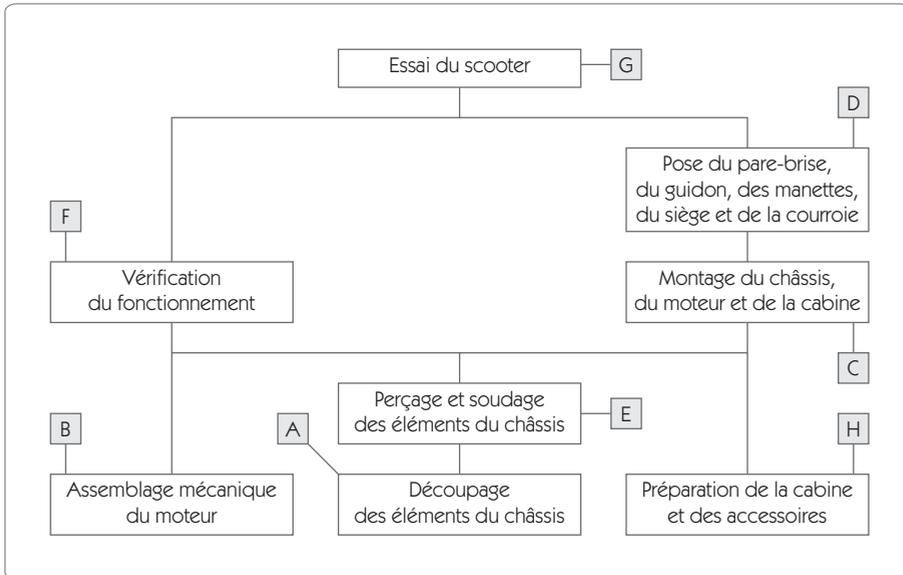
Avec les préoccupations juste-à-temps, on a aujourd'hui plutôt tendance à faire commencer les opérations le plus tard possible de manière à respecter « juste à temps » les impératifs fixés par le client, et on procède alors à un *jalonnement au plus tard*.

On peut également, pour raccourcir les délais, utiliser la technique du *chevauchement* qui consiste à faire démarrer une opération alors que la précédente n'est pas terminée, ou à effectuer des opérations en parallèle, pour diminuer le temps global de réalisation du projet.

Illustrons ces différentes techniques par un exemple.

Exemple n° 1

La société G. Duval a, parmi ses différentes activités, une activité de conception-fabrication de scooter des neiges. Pour répondre aux évolutions du marché, elle vient de concevoir un nouveau modèle de scooter qu'elle compte mettre en vente au cours du prochain hiver. Avant de lancer en fabrication le nouveau modèle, elle se propose de réaliser un prototype. La fabrication de celui-ci nécessite les opérations mentionnées sur la figure 4.2.

Figure 4.2 – Les opérations nécessaires à la fabrication du scooter

Suite à une réflexion au sein du bureau des méthodes, on a pu définir la durée approximative de ces différentes opérations. On a ainsi pu établir le tableau des antériorités de la figure 4.3.

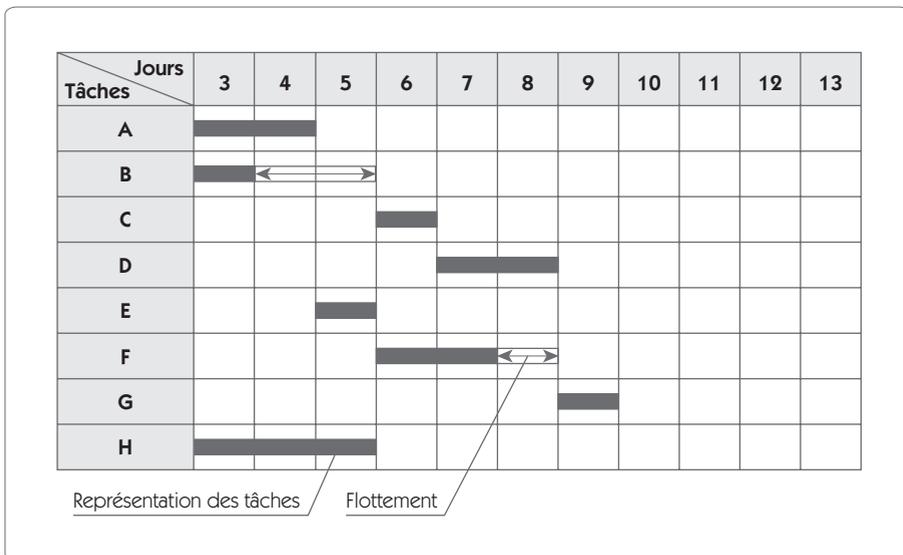
Figure 4.3 – Tableau des antériorités, exemple du scooter

Description des tâches	Tâches antérieures	Durée
A – Découpage des éléments de châssis	/	2 jours
B – Assemblage du moteur	/	1 jour
C – Montage châssis, moteur, cabine	E, B, H	1 jour
D– Pose pare-brise, guidon, manette...	C	2 jours
E – Perçage, soudage châssis	A	1 jour
F – Vérification du fonctionnement	E, B, H	2 jours
G – Essai du scooter	D, F	1 jour
H – Préparation cabine et accessoires	/	3 jours

La fabrication du prototype ne peut commencer que le 3 octobre pour des raisons de disponibilité des matières et des composants nécessaires à sa réalisation.

Si on effectue un *jalonnement au plus tôt*, c'est-à-dire à partir du 3 octobre, pour réaliser le nouveau scooter, on obtient le Gantt de la figure 4.4.

Figure 4.4 – Gantt de l'exemple scooter, jalonnement au plus tôt



En fait, on voudrait surtout que la réalisation du prototype soit terminée le 10 octobre au soir.

On va effectuer un *jalonnement au plus tard* pour savoir quand il convient de démarrer les différentes opérations pour que le projet se termine le 10 octobre au soir.

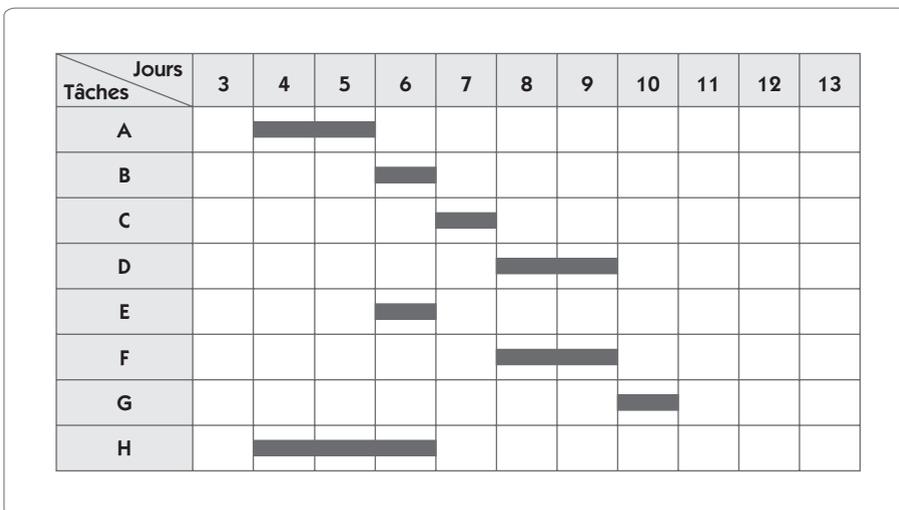
Pour faire un jalonnement au plus tard :

- on commence par positionner le plus tard possible la ou les tâches qui n'ont pas de successeurs, dans notre exemple, G ;
- on positionne le plus tard possible la ou les tâches qui ont pour successeurs celles qu'on vient de représenter, dans notre exemple, D et F ;

et ainsi de suite jusqu'aux tâches qui n'ont pas d'antérieures. Dans notre exemple, à la suite de D et F, on représentera les tâches qui les ont pour successeurs, soit C, puis on représentera E, B et H, et enfin A.

Au niveau graphique, cela se représente comme indiqué sur la figure 4.5.

Figure 4.5 – Gantt de l'exemple scooter, jalonnement au plus tard



Il suffit de commencer le 4 octobre au matin pour avoir terminé la réalisation du prototype le 10 octobre au soir.

On peut remarquer qu'en jalonnant au plus tard, on a repoussé le commencement des tâches le plus tard possible ; on n'a plus de flottement, et donc plus de flexibilité, ce qui impose un système de production fiable, sinon on ne pourra jamais respecter les engagements.

Exemple n° 2

La société G. Duval réalise également une activité de décolletage de pièces pour l'industrie automobile. C'est à cette activité que nous allons nous intéresser maintenant.

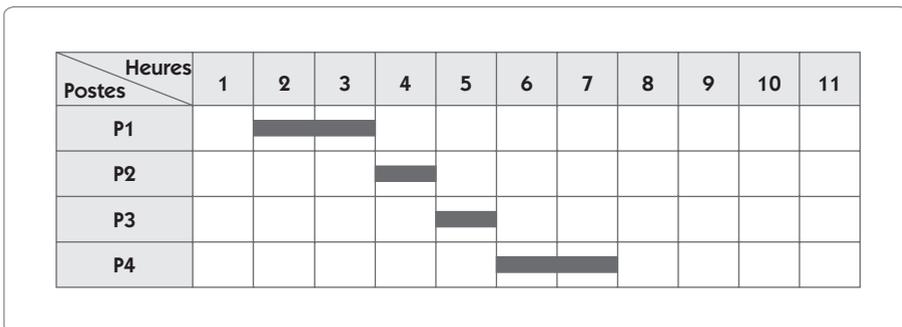
L'entreprise vient de recevoir une commande de 400 pièces que nous appellerons P001. Ces pièces doivent subir des opérations successives sur quatre postes de production :

- le poste P1 dont la capacité est de 400 pièces à l'heure ;
- le poste P2 dont la capacité est de 200 pièces à l'heure ;
- le poste P3 dont la capacité est de 100 pièces à l'heure ;
- le poste P4 dont la capacité est de 200 pièces à l'heure.

L'entreprise souhaite ordonnancer sa production sous la forme d'un Gantt et se demande combien de temps il lui faut pour traiter la commande de 400 pièces P001.

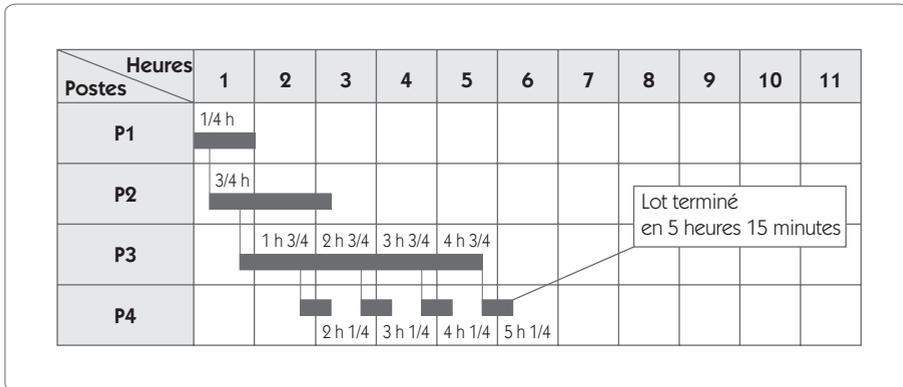
Si on effectue un jalonnement au plus tôt simple, on obtient le Gantt de la figure 4.6.

Figure 4.6 – Gantt commande pièces, jalonnement au plus tôt



La production de notre lot de 400 P001 se termine au bout de 9 heures. L'entreprise trouve que ce délai est trop long et se propose d'effectuer un *chevauchement* en coupant les lots de fabrication en quatre lots égaux. Cela va se traduire par un transfert au poste suivant toutes les 100 pièces. Au niveau du Gantt, on obtiendra le diagramme de la figure 4.7.

Figure 4.7 – Jalonnement au plus tôt avec chevauchement



Le projet se termine maintenant au bout 5 heures et quart au lieu de 9 heures ; on a gagné presque la moitié du temps. On pourrait gagner davantage en coupant le lot de 400 pièces non pas en 4 mais en 8. On transférerait alors des lots de 50 pièces. On peut même aller, si l'implantation le permet, jusqu'à un transfert pièce à pièce et on gagnerait encore beaucoup plus de temps.

Remarque

Dans la figure 4.7, on voit apparaître pour l'opération réalisée sur le poste P4 des petits intervalles de temps d'une demi-heure non travaillés et cela toutes les demi-heures. Dans la réalité, cette situation est invraisemblable et on poussera la réalisation de l'opération sur le poste P4 en totalité le plus tard possible, pour qu'elle puisse se réaliser en continu.

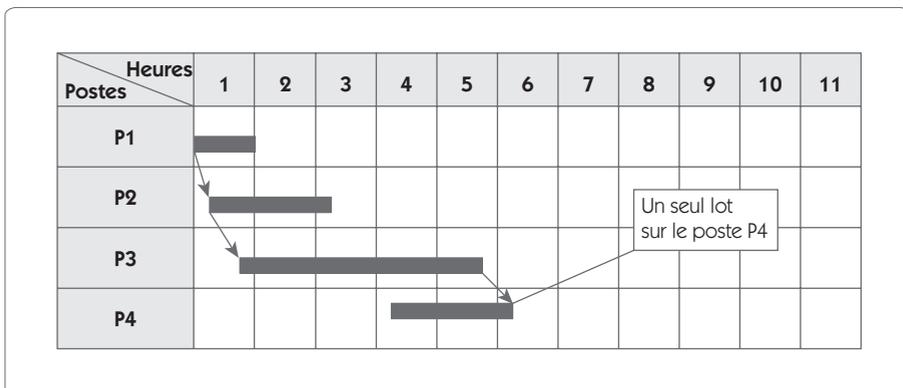
Pour réaliser ce type de représentation, on dispose d'une technique qui consiste à procéder de la manière suivante :

- Quand une opération est de durée supérieure à l'opération précédente, il n'y a pas de problème, car les produits transférés de l'opération précédente vont s'accumuler au cours du temps. Il suffit alors d'effectuer *un décalage par le haut* du lot de transfert préalablement défini, et ce pour toute l'opération.

- Quand une opération est de durée inférieure à l'opération précédente, il y a un problème car il y aura des intervalles de temps où le poste aval attendra la livraison du poste amont. Pour le résoudre, il suffit d'effectuer *un décalage par le bas* du dernier lot de transfert préalablement défini et de rattacher en amont les lots précédents.

L'application conduit à la figure 4.8.

Figure 4.8
Jalonnement au plus tôt avec chevauchement et lots complets



2.2 Utilisation industrielle du Gantt

Dans les entreprises, le Gantt se traduit graphiquement :

- Soit par un planning mural sur lequel on positionne des barres cartonnées ou plastiques de couleurs et de longueurs différentes qui représentent les opérations à réaliser.
- Soit par un logiciel informatique qui simule un Gantt à l'écran. Dans ce cas de figure, les concepteurs de logiciels ont intégré de puissants algorithmes de positionnement des tâches permettant une assistance efficace au gestionnaire de production.

Dans une situation comme dans l'autre, le Gantt n'est pas un planning figé mais au contraire un planning dynamique qui doit faire apparaître en temps réel les modifications d'opérations en dates et durées liées aux impératifs de replanification et reprogrammation.

Le Gantt n'est pas utilisé seulement pour gérer des projets de type unitaires. On le trouve très souvent dans les entreprises, utilisé dans les ateliers comme outil de planning d'ordonnancement-lancement de la production quotidienne.

2.3 Conclusion

L'intérêt principal du Gantt réside dans sa simplicité de construction, de présentation et de compréhension. C'est un outil qui met visuellement en évidence la solution simple d'un problème. Il permet de prendre en considération les contraintes modernes du juste-à-temps par le chevauchement et le jalonnement au plus tard.

Tous ces éléments expliquent l'utilisation encore très actuelle du Gantt. Par ailleurs, on peut constater que de nombreux et récents logiciels de type APS (*Advanced Planning and Scheduling*) intègrent les principes des diagrammes Gantt. Toutefois, son utilisation devient difficile quand le nombre de tâches ou de postes devient très important.

3. La méthode PERT

3.1 Généralités

PERT est l'acronyme de *Program and Evaluation Review Technique*, « Technique d'élaboration et de contrôle des projets » pourrait-on traduire en français.

La méthode PERT date de 1958 et vient des États-Unis où elle a été développée sous l'impulsion de la marine américaine. Celle-ci a en effet créé à cette époque-là une force de frappe nucléaire dont faisait partie un programme de missiles à longue portée POLARIS qui représentait :

- 250 fournisseurs ;
- 9 000 sous-traitants ;
- 7 ans de réalisation prévue.

L'utilisation du PERT a permis de ramener la durée globale de réalisation du projet de 7 à 4 ans. Cette méthode s'est ensuite étendue à l'industrie américaine puis à l'industrie européenne.

La méthode PERT est synonyme de gestion de projets importants et à long terme.

3.2 Présentation de la méthode PERT

La méthode PERT s'attache surtout à mettre en évidence les liaisons qui existent entre les différentes tâches d'un projet et à définir le chemin dit « critique », constitué de l'ensemble des opérations critiques, c'est-à-dire des opérations sur lesquelles on ne peut pas prendre de retard sans modifier la durée de réalisation du projet.

Comme pour le Gantt, sa réalisation nécessite tout d'abord de définir :

- le projet à réaliser ;
- les différentes opérations et les responsables de ces opérations ;
- les durées correspondantes ;
- les liens entre ces différentes opérations.

3.2.1 La méthode de construction du PERT

Le graphe PERT est composé d'étapes et d'opérations.

- On représente les étapes par des cercles.
- On représente les opérations ou les tâches à effectuer par des flèches. La longueur des flèches n'a pas de signification (il n'y a pas de proportionnalité par rapport au temps).

Pour présenter la méthode, choisissons un exemple tout à fait élémentaire qui ne serait jamais traité dans la réalité par la méthode PERT. Notre objectif est ici essentiellement pédagogique.

Supposons que nous souhaitons prendre une photographie avec un appareil à débrayage.

Opérations à réaliser

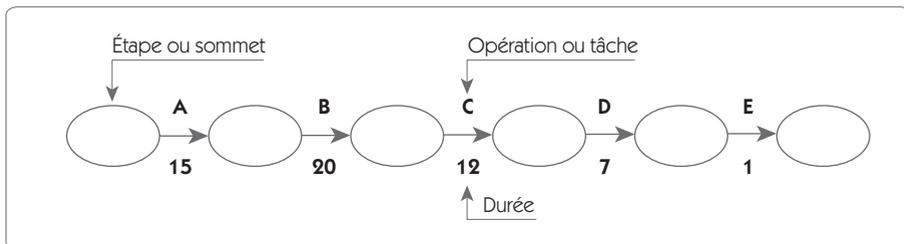
Code	Désignation	Durée(s)
A	sortir l'appareil de son étui	15
B	viser l'objet à photographier	20
C	régler la vitesse	12
D	régler l'ouverture du diaphragme	7
E	appuyer sur le déclencheur	1

Liens entre les opérations

Ces opérations s'enchaînent les unes à la suite des autres de A jusqu'à E.

Le PERT correspondant est représenté sur la figure 4.9.

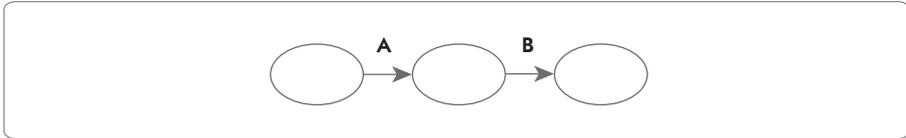
Figure 4.9 – PERT : prise d'une photographie



3.2.2 Précisions concernant la représentation graphique

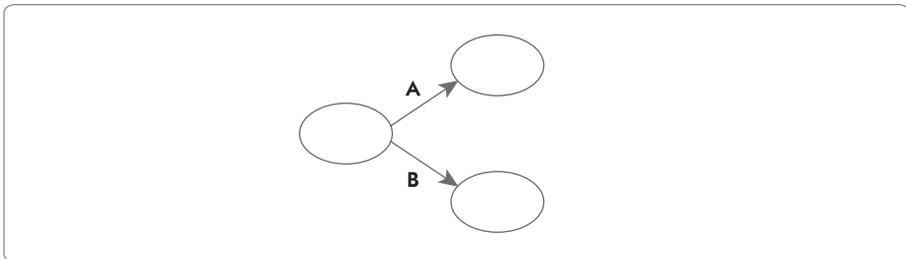
- Un PERT possède un seul sommet de début, un seul sommet de fin.
- On ne peut représenter une opération que par une seule flèche.
- Deux tâches A et B qui se succèdent immédiatement se représentent par des flèches qui se suivent (figure 4.10).

Figure 4.10 – Tâches successives



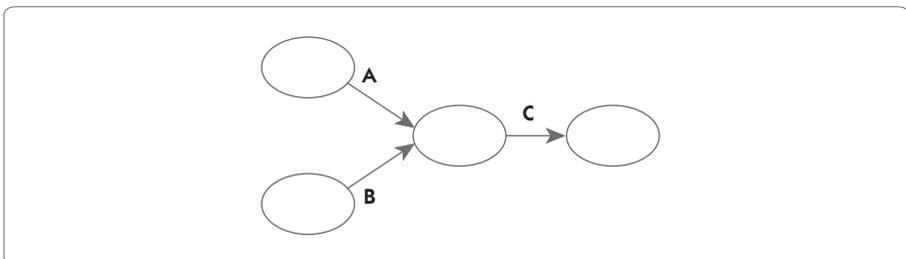
- Deux tâches simultanées (c'est-à-dire qui commencent en même temps) sont représentées comme indiqué sur la figure 4.11.

Figure 4.11 – Tâches simultanées



- Deux tâches A et B convergentes (c'est-à-dire qui précèdent une même étape C) sont représentées comme indiqué sur la figure 4.12.

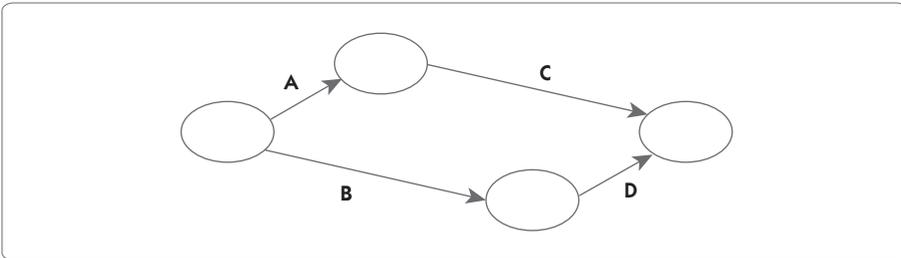
Figure 4.12 – Tâches convergentes



Pour les besoins de la représentation, on est parfois obligé de créer des tâches fictives X de durée nulle. Ainsi, le graphe PERT de la figure 4.13. signifie que :

- A et B sont simultanées.
- C et D sont convergentes.
- A précède C.
- B précède D.

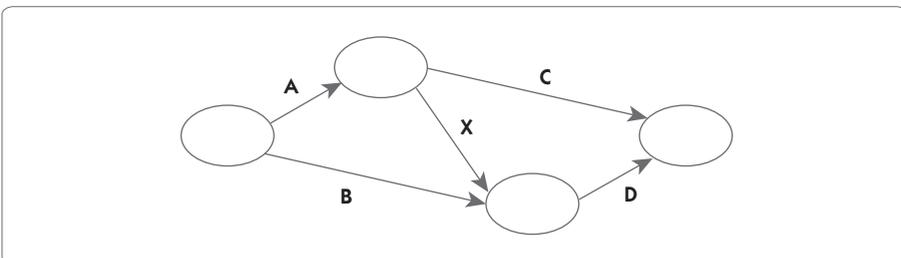
Figure 4.13
Exemple comportant des tâches simultanées et convergentes



Supposons que nous ajoutons la condition supplémentaire A précède D.

Il faut alors créer une tâche fictive X, de durée nulle, dont l'objectif est de modéliser cette condition d'antériorité nouvelle. On aura alors la représentation de la figure 4.14.

Figure 4.14 – Exemple comportant une tâche fictive



3.2.3 Les étapes de la construction du PERT

Nous allons traiter un exemple concret et sa réalisation phase par phase à l'aide de la méthode PERT.

Reprenons l'exemple que nous avons traité avec la méthode Gantt et qui consistait à réaliser un prototype de scooter des neiges dont les opérations à réaliser comportaient les caractéristiques indiquées sur la figure 4.15.

Figure 4.15 – Tableau des antériorités, exemple du scooter

Description des tâches	Tâches antérieures	Durée
A – Découpage des éléments de châssis	/	2 jours
B – Assemblage du moteur	/	1 jour
C – Montage châssis, moteur, cabine	E, B, H	1 jour
D – Pose pare-brise, guidon, manette...	C	2 jours
E – Perçage, soudage châssis	A	1 jour
F – Vérification du fonctionnement	E, B, H	2 jours
G – Essai du scooter	D, F	1 jour
H – Préparation cabine et accessoires	/	3 jours

Première étape

Pour construire le graphe, il faut tout d'abord déterminer la manière de positionner les différentes opérations. Plusieurs méthodes permettent d'apporter une solution à ce problème. Nous parlerons ici de la méthode des niveaux qui se développe à partir du tableau des antériorités :

On définit le niveau 1 comme étant l'ensemble des tâches n'ayant pas de tâches antérieures.

On barre dans le tableau des antériorités les tâches qui n'ont plus d'antériorités et on obtient le niveau suivant, et ainsi de suite...

Les niveaux ainsi définis nous donnent la position des sommets de début des tâches correspondantes.

En appliquant cette démarche à notre exemple, nous obtenons les tâches de niveau 1 : A, B et H. Barrons-les dans le tableau des antériorités pour définir les tâches de niveau 2 (figure 4.16).

Figure 4.16 – Antériorités, méthode des niveaux, première étape

Description des tâches	Tâches antérieures	Durée
A – Découpage des éléments de châssis	/	2 jours
B – Assemblage du moteur	/	1 jour
C – Montage châssis, moteur, cabine	E, B, H	1 jour
D – Pose pare-brise, guidon, manette...	C	2 jours
E – Perçage, soudage châssis	A	1 jour
F – Vérification du fonctionnement	E, B, H	2 jours
G – Essai du scooter	D, F	1 jour
H – Préparation cabine et accessoires	/	3 jours

La seule tâche n'en ayant pas d'antérieure est E ; elle est de niveau 2. Poursuivons en barrant la tâche E (figure 4.17).

Figure 4.17 – Antériorités, méthode des niveaux, deuxième étape

Description des tâches	Tâches antérieures	Durée
A – Découpage des éléments de châssis	/	2 jours
B – Assemblage du moteur	/	1 jour
C – Montage châssis, moteur, cabine	E , B, H	1 jour
D – Pose pare-brise, guidon, manette...	C	2 jours
E – Perçage, soudage châssis	A	1 jour
F – Vérification du fonctionnement	E , B, H	2 jours
G – Essai du scooter	D, F	1 jour
H – Préparation cabine et accessoires	/	3 jours

On définit ainsi deux tâches de niveau 3 : C et F.

Poursuivons en les barrant dans le tableau des antériorités (figure 4.18).

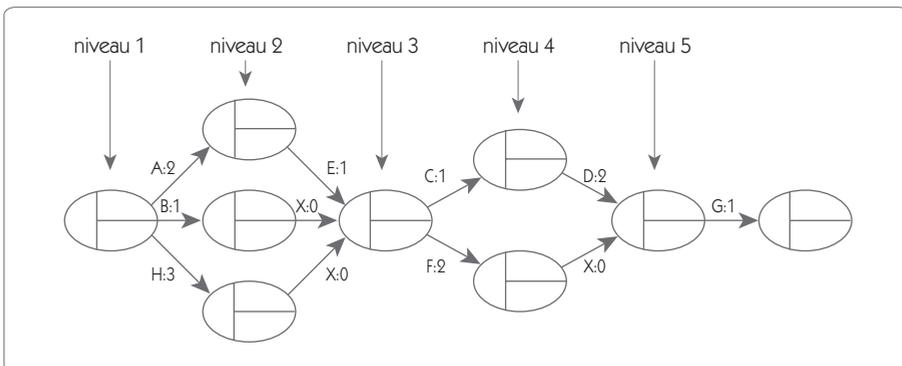
Figure 4.18 – Antériorités, méthode des niveaux, troisième étape

Description des tâches	Tâches antérieures	Durée
A – Découpage des éléments de châssis	/	2 jours
B – Assemblage du moteur	/	1 jour
C – Montage châssis, moteur, cabine	E, B, H	1 jour
D – Pose pare-brise, guidon, manette...	E	2 jours
E – Perçage, soudage châssis	A	1 jour
F – Vérification du fonctionnement	E, B, H	2 jours
G – Essai du scooter	D, F	1 jour
H – Préparation cabine et accessoires	/	3 jours

On définit ainsi D comme tâche de niveau 4 et il reste de façon évidente G comme tâche de niveau 5.

On peut donc effectuer la représentation graphique du PERT (figure 4.19).

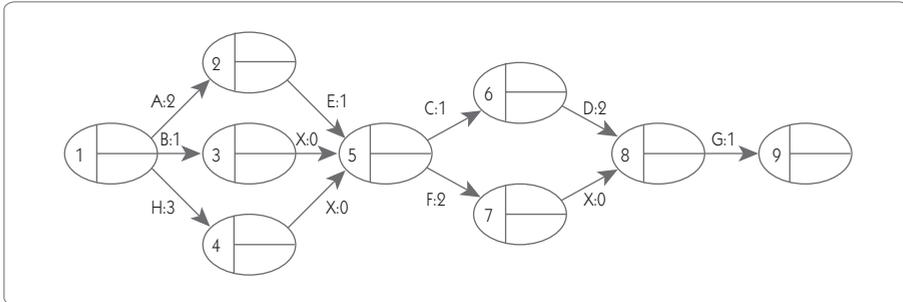
Figure 4.19 – Exemple du scooter, première étape



Deuxième étape

Elle consiste à numéroter les sommets. La numérotation se fait de gauche à droite dans la partie gauche des sommets (figure 4.20).

Figure 4.20 – Exemple du scooter, deuxième étape

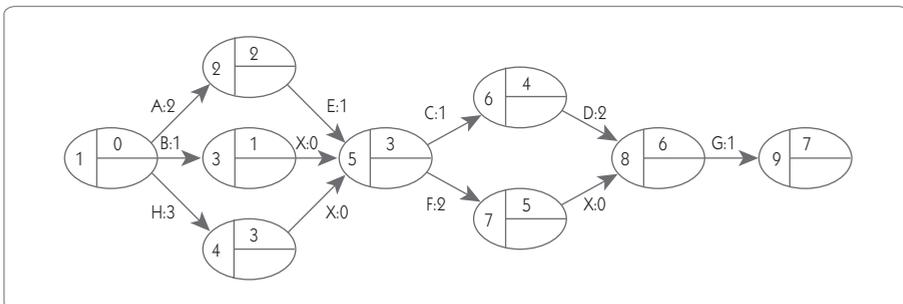


Troisième étape

On va chercher à déterminer les *dates au plus tôt* d'exécution des tâches.

On travaille de gauche à droite en additionnant les durées des tâches les unes aux autres, en prenant la plus grande valeur aux intersections. En effet, on ne peut pas démarrer une tâche tant que toutes les précédentes ne sont pas terminées. On positionne les dates au plus tôt dans la partie supérieure droite des sommets (figure 4.21).

Figure 4.21 – Exemple du scooter, calcul des dates au plus tôt

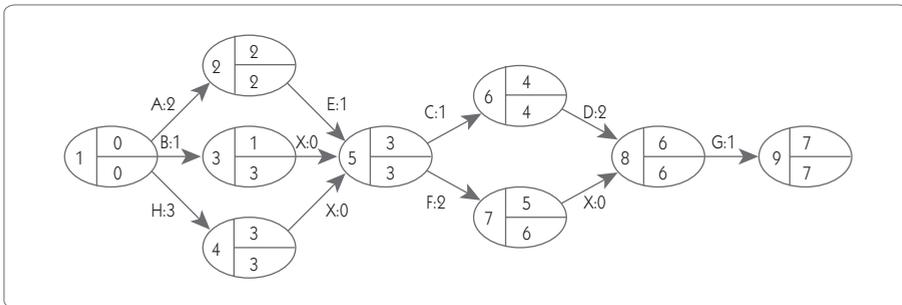


Quatrième étape

On va chercher à déterminer les *dates au plus tard* d'exécution des tâches.

On travaille de droite à gauche en soustrayant les durées des tâches les unes aux autres, à partir de la date finale, et en prenant la plus petite valeur aux intersections (puisque l'on ne peut pas commencer une tâche plus tard qu'au moment qui permet de réaliser le projet dans le délai défini). On positionne les dates au plus tard dans la partie inférieure droite des sommets (figure 4.22).

Figure 4.22 – Exemple du scooter, calcul des dates au plus tard



Cinquième étape

On peut déterminer pour chaque tâche son flottement.

(Flottement de la tâche i = date au plus tard de réalisation de la tâche i – date au plus tôt de réalisation de la tâche i .)

Exemple flottement sur B = 3 – 1 = 2 jours.

Cela signifie qu'on peut se permettre de prendre 2 jours de retard sur la réalisation de la tâche B sans que cela ne modifie la durée globale de réalisation du projet.

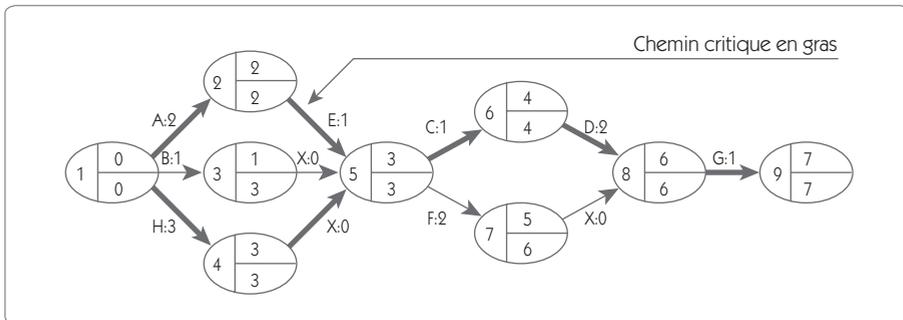
Sixième étape

Il s'agit de la mise en évidence du chemin critique. Il passe par les tâches dites critiques (sans flottement), qui sont celles pour lesquelles la date de réalisation au plus tôt est égale à la date de réalisation au plus tard.

Ce sont des tâches pour lesquelles un retard éventuel de réalisation entraînerait une augmentation équivalente de la durée globale du projet.

On a dans notre exemple deux chemins critiques qui sont : A, E, C, D, G et, par ailleurs, H, C, D, G.

Figure 4.23 – Mise en évidence des chemins critiques



3.3 La notion de multi-PERT

La notion de réseau PERT correspond à la notion de gestion de projet, comme nous l'avons déjà précisé. Quand le réseau d'ensemble de celui-ci devient trop complexe, on peut le diviser :

soit en un ensemble de sections qui seront organisées de manière indépendante ;

soit en un ensemble de niveaux hiérarchiques qui seront eux aussi gérés indépendamment les uns des autres.

3.3.1 Les réseaux à sections multiples

On divise le projet en différentes sections organisées de manière indépendante, ce qui permet :

au groupe de travail d'une section d'analyser et de modifier son propre réseau, indépendamment des autres ;

de connaître les responsables d'une avance ou d'un retard éventuel et d'engager leur responsabilité.

Des événements de liaison permettent de coordonner les sections ; les figures 4.24 et 4.25 en donnent deux exemples.

Figure 4.24 – Sous-réseau n'ayant qu'un seul événement de liaison

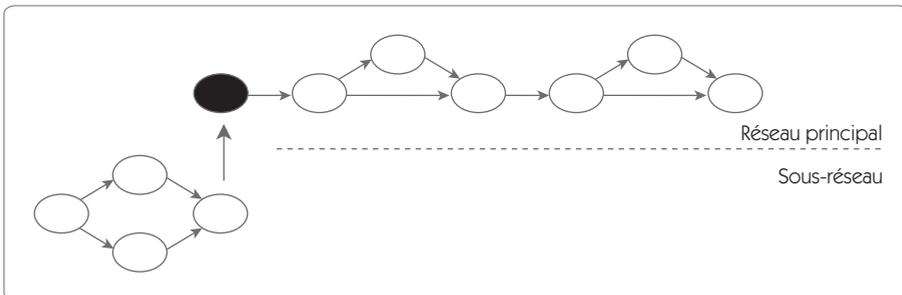
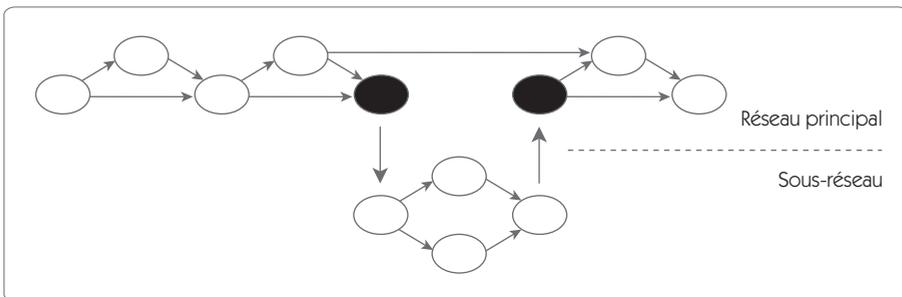


Figure 4.25 – Sous réseau ayant deux événements de liaison

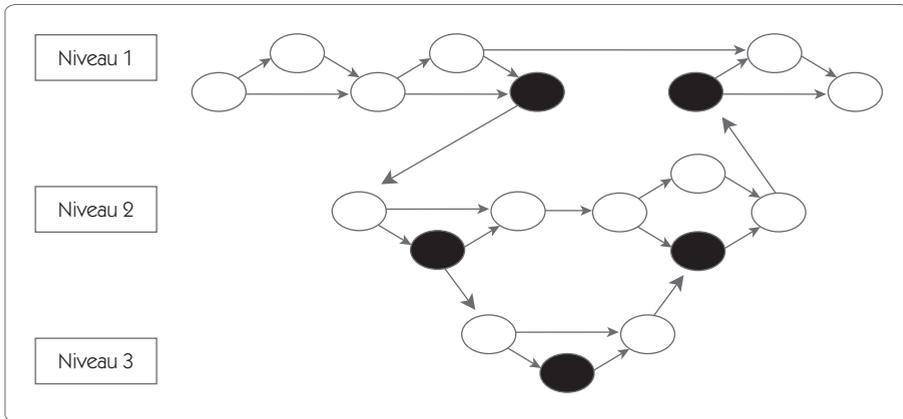


3.3.2 Les réseaux à niveaux multiples

On décompose le réseau global en un ensemble de réseaux selon différents niveaux hiérarchiques.

Un réseau de niveau inférieur est une extension d'une activité unique de niveau supérieur. Cette activité correspond en général à une activité qui est supposée importante ou génératrice de problèmes éventuels et qui nécessite d'être suivie avec beaucoup d'attention.

Figure 4.26 – Multi-PERT à niveaux multiples



- Au niveau 1, une seule activité fait l'objet d'une mention particulière nécessitant l'accès à un réseau inférieur, celui de niveau 2.
- Au niveau 2, une tâche fait l'objet d'une mention particulière nécessitant elle aussi l'accès à un réseau inférieur, celui de niveau 3.
- Une fois le réseau 3 terminé, on remonte au niveau 2.
- Une fois le réseau 2 terminé, on remonte au niveau 1 dont on termine l'exécution.

On peut effectuer des opérations de contrôle au niveau de l'exécution des différents réseaux, en évaluant à intervalles de temps réguliers le travail déjà effectué et celui qui reste à effectuer.

Les prévisions d'avance ou de retard peuvent ainsi être répercutées d'un réseau à l'autre par le canal des événements de liaison.

3.4 Le PERT-coût ou PERT-cost

On peut reprocher au réseau PERT d'avoir pour seul objectif de minimiser la durée d'un projet, mais de ne permettre en aucun cas de déterminer le coût correspondant à la réalisation du projet.

Le système PERT-cost ou PERT-coût permet de pallier cette insuffisance.

Il consiste en l'adjonction de procédures d'analyse des coûts au PERT traditionnel.

On recherche les coûts correspondant à un ensemble de tâches homogènes (la détermination du coût de chaque tâche serait beaucoup trop longue, beaucoup trop complexe, coûteuse, et par trop inexacte) :

- coût de la main-d'œuvre ;
- coûts directs liés au travail ;
- coûts indirects liés au travail.

Le coût global du projet se calcule en faisant la somme des différents coûts de tous les groupes de tâches intermédiaires.

Le niveau de ce coût global du projet ne remet en général pas en cause l'ordonnancement établi. Pourtant, on peut considérer qu'un coût minimal puisse être un objectif du réseau PERT.

Signalons ici pour mémoire que la méthode CPM, pour *Critical Path Method* (« méthode du chemin critique »), est fondée sur la relation durée-coût et a pour objectif, à partir d'une solution acceptable en termes de durée et de coût, de parvenir à *une réduction maximale de la durée, pour une augmentation minimale du coût*.

Cette analyse parallèle en termes de coût est essentielle surtout dans le cas d'un projet de grande envergure et de longue durée. Il peut en effet être catastrophique pour une entreprise de découvrir à la fin de la réalisation du projet que celui-ci a un coût dépassant largement le prix accepté et signé par le client quelques mois auparavant.

On parle aujourd'hui beaucoup de la notion de respect des délais. Mais ce dernier ne doit pas être tenu à n'importe quel prix !

4. Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre les deux méthodes d'aide à la gestion par projet : planning Gantt et graphes PERT. Le PERT est une technique de gestion des projets utilisée en général pour des projets importants en taille, coût et durée, alors que le Gantt est davantage utilisé pour des projets de moindre importance et même de gestion quotidienne de l'atelier.

Toutes deux sont des outils de visualisation. Le PERT a un avantage par rapport au Gantt : il met clairement en évidence les liens existant entre les différentes opérations. Cependant, contrairement au Gantt, un PERT réalisé manuellement rencontre rapidement des problèmes de conception en raison de sa complexité de construction.

Ces deux méthodes pourtant déjà anciennes sont toujours d'actualité grâce à leur intégration dans la plupart des logiciels de gestion de production et de gestion par projet. L'intégration d'algorithmes sophistiqués, laquelle serait ingérable à la main, rend les versions informatisées de ces méthodes d'une redoutable efficacité.

Chapitre 5

La gestion des stocks traditionnelle

1. Le problème de la gestion des stocks

1.1 Introduction

Le rôle des stocks dans une entreprise apparaît souvent ambigu. Il est indéniable qu'ils ont un rôle positif de régulation du processus de production. Ils permettent de désynchroniser la demande d'un produit de la production.

Hélas, ce rôle positif est largement compensé par plusieurs inconvénients majeurs :

- rigidification de la production – il faut écouler les stocks ;
- augmentation du délai moyen de production ;
- immobilisation de moyens financiers importants ;

- immobilisation de surface ;
- etc.

La désynchronisation, due à la présence de stocks, permet de masquer de nombreux problèmes tels qu'une maintenance des machines insuffisante, une mauvaise planification...

Il faut donc trouver un compromis afin d'obtenir ce rôle positif indiqué pour un coût minimal. Tel va être un des objectifs permanents de la gestion de production.

1.2 Différents types de stocks

On distingue différents types de stocks :

1. les stocks nécessaires à la fabrication, matières premières, ébauches, pièces spéciales sous-traitées, pièces normalisées, pièces intermédiaires fabriquées par l'entreprise ;
2. les pièces de rechange pour le parc machines, les outillages spéciaux, les outillages et matières consommables, les pièces, matériaux, produits pour l'entretien des bâtiments ;
3. les en-cours, c'est-à-dire les stocks entre les différentes phases de l'élaboration du produit (entre les machines) ;
4. les stocks de produits finis.

Comme nous l'avons dit précédemment, les stocks constituent à la fois une nécessité et une lourde contrainte financière. En moyenne, le coût annuel des stocks représente 25 % à 35 % des capitaux immobilisés. Avant d'aller plus avant, il est important de réfléchir à la notion de stock afin de ne plus les considérer comme « un mal nécessaire ».

Les stocks sont de natures différentes. Certains sont des stocks « subis », c'est-à-dire involontaires alors que d'autres sont « voulus » car inhérents au mode de production. En énumérant un certain nombre de stocks, nous remarquerons qu'il est parfois délicat de les classer dans une seule de ces catégories.

Cherchons l'origine des stocks subis :

- Ils se forment en raison d'erreurs dans les prévisions de la demande.

- Ils apparaissent parce que l'on produit plus que nécessaire, d'où la tendance des stocks à se gonfler.
- Ils se constituent du fait de la production par lots.
- Ils se forment en raison de la différence de rythme des moyens de production ou de leurs aléas de fonctionnement.

Les stocks voulus peuvent également provenir de plusieurs sources :

- production anticipée en raison du long délai qui s'écoule entre la commande et la production ;
- production anticipée pour niveler les fluctuations de la demande ;
- stocks nécessaires pour compenser les irrégularités dans la gestion de la fabrication (usinage), du contrôle et des transports ;
- stocks de précaution pour le cas de pannes des machines ou produits défectueux ;
- stocks résultant de la production d'un lot de grande taille en prévision des temps importants de mise en route des séries.

Si l'on considère l'investissement *non productif* que représentent les stocks, on note qu'il est fondamental pour une entreprise de chercher à les réduire le plus possible. Toutefois, on ne doit pas opérer cette réduction de façon aveugle, sinon cela risque d'engendrer des ruptures et des retards de livraison.

La diminution des stocks est toujours corrélée à une réduction du délai de production. On ne diminue pas les stocks, les stocks se réduisent suite aux actions menées sur le processus de production, telles que :

- la prévention des pannes de machines (maintenance) et l'apparition de produits défectueux (qualité) ;
- la réduction des temps de mise en route ;
- l'amélioration de la gestion de production dans l'entreprise par la mise en œuvre des méthodes que nous exposerons dans cet ouvrage.

1.3 Objectif de la gestion des stocks

La gestion des stocks a pour finalité de maintenir à un seuil acceptable le niveau des services pour lequel le stock considéré existe.

Il n'y a pas d'objectif absolu valable pour toutes les entreprises, pour tous les produits, pour toutes les catégories de stocks. L'objectif correspondra toujours à un contexte particulier. De plus, il ne sera pas figé, mais évoluera dans le temps. En effet, l'un des objectifs de la gestion de stocks est précisément d'aller vers une performance accrue par une meilleure maîtrise des stocks.

Cette gestion implique différents types d'opérations :

- le magasinage avec entrées, stockage, sorties des articles ;
- la tenue d'un fichier consacré à la tenue des stocks ;
- l'imputation dans la comptabilité des entrées /sorties ;
- le classement des stocks en catégories.

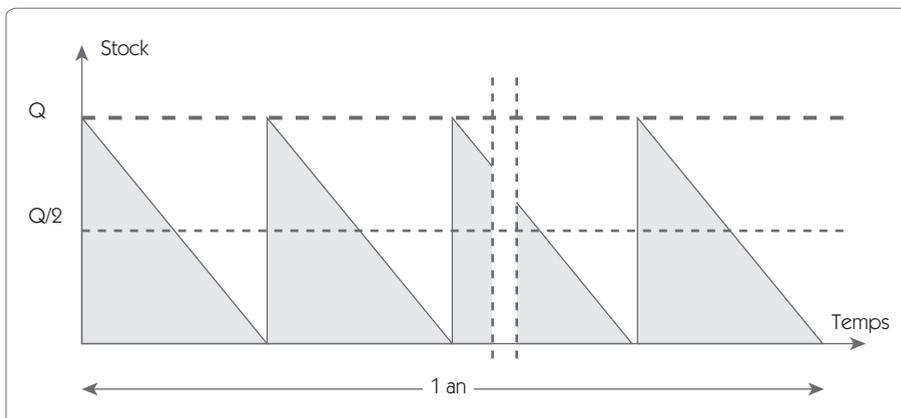
1.4 Optimisation du niveau du stock

Comment minimiser le stock considéré en conservant un niveau de service suffisant ? La réponse à cette question va dépendre de la nature du stock. Dans tous les cas, toutefois, il faudra agir sur la véritable cause du stock ou du sur-stock. Donnons quelques exemples :

- mauvaise qualité des prévisions entraînant des stocks dormants ou morts ;
- excès de prudence en ce qui concerne les stocks de sécurité ;
- irrégularité et manque de fiabilité dans le fonctionnement des machines ;
- déséquilibre des cadences ;
- importance de la taille des séries dans la fabrication par lots...

Le niveau du stock dépend naturellement de deux facteurs : les entrées et les sorties. Souvent il ne sera pas possible de jouer sur les sorties (appelées par la production) et la seule façon de réguler le niveau moyen du stock consistera à modifier le mode des entrées.

Figure 5.1 – Schéma d'évolution théorique du stock



Prenons par exemple le cas idéalisé de consommations régulières et d'entrées, périodiques dans le temps, de quantités Q . On obtiendra une évolution du niveau de stock représenté sur la figure 5.1 et le stock moyen sera évidemment égal à $Q/2$.

On se dit immédiatement que, pour diminuer le niveau moyen du stock, il suffit de diminuer la taille du lot Q . Hélas, ce n'est pas si simple... car chaque lancement de lot entraîne des coûts de lancement (coûts de passation de commandes pour les achats, coûts de changement de série en fabrication) et ces frais augmentent avec le nombre de lancements. À un certain moment, l'augmentation du coût des lancements va dépasser le gain financier de réduction du stock et le résultat global sera mauvais. L'objectif est donc de trouver la *quantité* Q conduisant à un *coût global minimal* de la somme des coûts de stockage et coûts de lancement. Cette quantité est appelée *quantité économique*.

2. Classification des stocks

2.1 Nécessité d'un classement

Lorsqu'une entreprise gère plusieurs milliers d'articles, elle ne peut accorder à chacun des articles la même priorité dans sa gestion. Une gestion des stocks est donc une gestion sélective : on ne gère pas de la même façon les fournitures de bureau et les articles destinés à la production. De même, dans un ensemble produit, la vis de diamètre 5 dont la valeur est faible ne sera pas gérée de manière identique au corps du produit dont la valeur est très importante. On note donc à ce niveau qu'il est nécessaire d'adopter une classification des produits selon deux critères :

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

2.2 Classement ABC

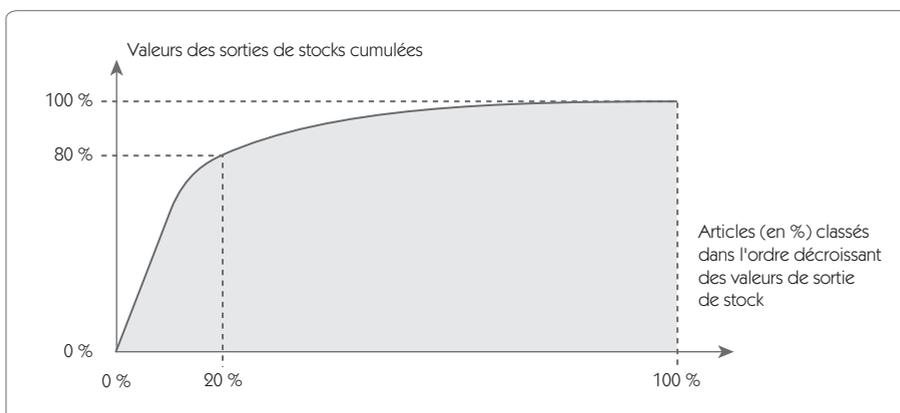
2.2.1 Principe du classement ABC

Le classement ABC des articles consiste à différencier les articles en fonction de la valeur des sorties annuelles de stocks qu'ils représentent. Ce classement est fondé sur le principe bien connu des 80-20 : 20 % des articles représentent 80 % de la valeur totale des sorties, et les 80 % des articles restants ne représentent que 20 %. Ce classement est donc fondamental pour une entreprise, car il conditionne le type de gestion que l'on va appliquer à chacun des articles.

On peut effectuer ce classement ABC en se fondant sur deux critères :

- valeurs des sorties annuelles en stocks ;
- valeur en stocks.

L'application simultanée sur les deux critères et la comparaison des résultats sont souvent très utiles pour mesurer la rigueur avec laquelle les stocks sont gérés.

Figure 5.2 – Principe du classement ABC

2.2.2 Étude de la méthode sur un exemple d'école

L'exemple que nous présentons ci-après est limité à 10 articles. Il est évident qu'un cas aussi simple ne nécessite pas de classification ABC. Cependant, il permet de comprendre le principe du classement. Le classement ABC ne présente d'intérêt réel que lorsque le nombre d'articles étudiés est suffisamment élevé.

Soit donc une entreprise gérant 10 articles, et dont les valeurs de sorties de stock et les valeurs de stock sont les suivantes :

Article	Valeur de l'article	Nombre de sorties	Total	Quantité en stock	Total
01	25,00	159	3 975	35	875
02	134,00	56	7 504	12	1 608
03	23,00	12	276	4	92
04	5,00	70	350	25	125
05	87,00	30	2 610	1	87
06	2,00	75	150	10	20
07	9,00	140	1 260	20	180
08	1,00	80	80	10	10
09	0,50	150	75	50	25
10	6,00	35	210	5	30

Classement ABC sur les sorties

Après avoir classé les articles de façon que les totaux des sorties soient classés dans l'ordre décroissant, il faut calculer les pourcentages respectifs, en valeur et en nombre d'articles.

Article	Valeur de l'article	Nombre de sorties	Total	Total cumulé	% Valeur cumulé	% Articles cumulé
02	134,00	56	7 504	7 504	45,5	10
01	25,00	159	3 975	11 479	69,6	20
05	87,00	30	2 610	14 089	85,4	30
07	9,00	140	1 260	15 349	93,1	40
04	5,00	70	350	15 699	95,2	50
03	23,00	12	276	15 975	96,9	60
10	6,00	35	210	16 185	98,2	70
06	2,00	75	150	16 335	99,1	80
08	1,00	80	80	16 415	99,6	90
09	0,50	150	75	16 490	100,0	100
Somme			16 490			

Si l'on place sur un graphique, en abscisse, les différents articles, et en ordonnée le total des sorties, on obtient une courbe de Pareto dite courbe ABC (figure 5.3).

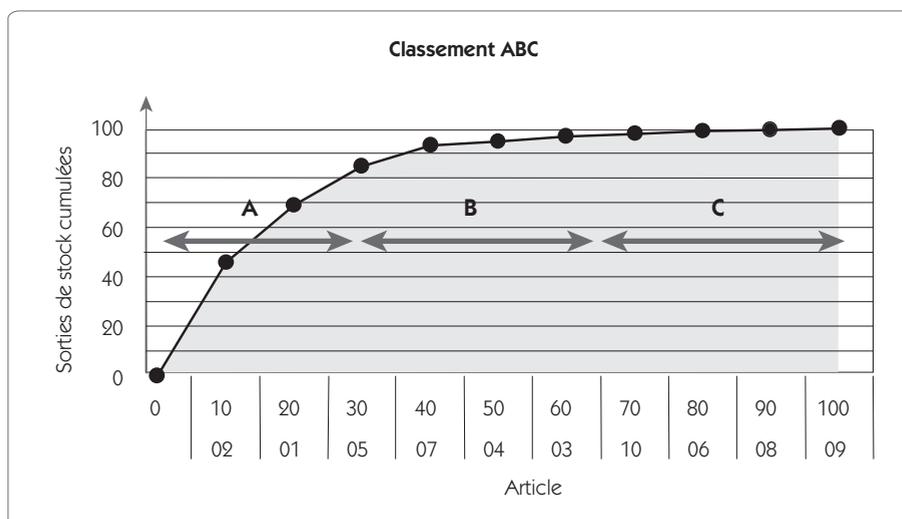
On note que les 2 premiers produits représentent 69 % de sorties totales et 20 % de nombre total d'articles.

- Ces produits pourraient constituer la classe **A**.

Les produits représentant 97 % des sorties sont constitués de 60 % du nombre d'articles.

- Les articles 05, 07, 04 et 03 pourraient constituer la classe **B**. Ces quatre produits représentent 28 % des sorties pour 40 % des articles.
- Les 4 derniers articles formeraient la classe **C** représentant 3 % de la valeur totale des articles pour 40 % des articles.

Figure 5.3 – Courbe ABC sur les sorties



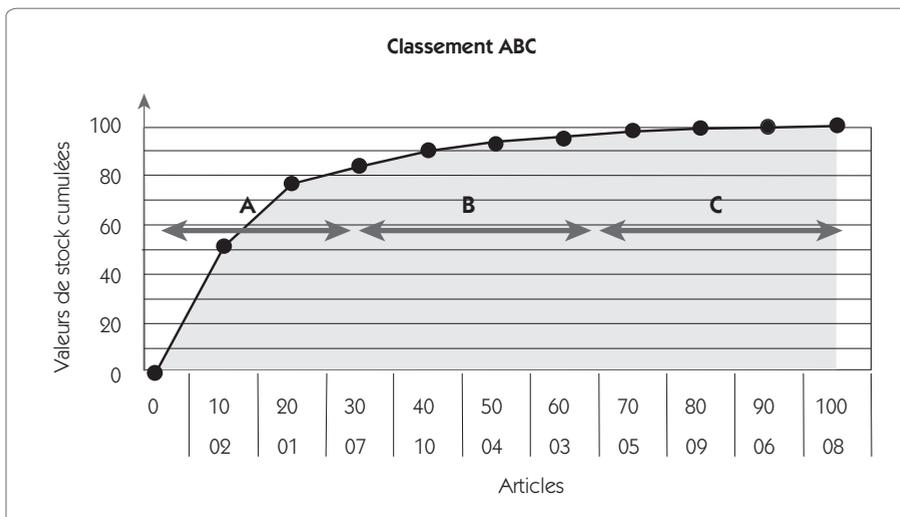
Classement ABC sur les valeurs en stock

Le même classement sur les valeurs en stock donnerait :

Article	Valeur de l'article	Quantité en stock	Total	Total cumulé	% Valeur cumulé	% Article cumulé
02	134,00	12	1 608	1 608	52,7	10
01	25,00	35	875	2 483	81,4	20
07	9,00	20	180	2 663	87,3	30
04	5,00	25	125	2 788	91,3	50
03	23,00	4	92	2 880	94,4	60
05	87,00	1	87	2 967	97,2	70
10	6,00	5	30	2 997	98,2	40
09	0,50	50	25	3 022	99,0	80
06	2,00	10	20	3 042	99,7	90
08	1,00	10	10	3 052	100,0	100
Somme			3 052			

Ce qui donne la courbe suivante :

Figure 5.4 – Courbe ABC sur les valeurs en stock



On note que les 2 premiers produits représentent 78 % des sorties totales et 20 % du nombre total d'articles.

- Ces produits pourraient constituer la classe A.

Les produits représentant 95 % des sorties sont constitués de 60 % du nombre d'articles.

- Les articles 07, 10, 04 et 03 pourraient constituer la classe B.
- Les 4 derniers articles formeraient la classe C représentant 5 % de la valeur totale des articles.

L'intérêt de la double analyse ABC réside dans l'observation respective des ordres dans lesquels sont classés les articles. Si on ne s'intéresse qu'aux articles tournants, en excluant les pièces destinées au service après-vente pour des produits anciens, les deux classements ABC doivent donner des résultats sensiblement identiques. C'est notamment le cas de l'exemple susmentionné. En effet, il serait anormal de trouver un article représentant une part très faible pour les sorties et une part importante de la valeur en stock. De même, si un article a des valeurs en sortie importantes, il serait anormal de le trouver dans la catégorie C

en ce qui concerne les stocks. Ce serait probablement le signe d'un article prochainement en rupture, si ce n'était pas déjà le cas.

Les anomalies constatées par cette double analyse ABC devront être étudiées avec attention pour savoir si le fait s'explique ou s'il est l'illustration de la maxime suivante : « Plus il y a de stocks, plus il y a de manquants. »

2.3 Classement ABC adapté

2.3.1 Classement combiné articles/clients

De même que 20 % des articles représentent souvent 80 % des valeurs de sortie, il arrive souvent dans une entreprise que 20 % des clients représentent 80 % du chiffre d'affaires. Il est donc souvent nécessaire de combiner le classement des articles par valeurs des ventes annuelles et le classement des clients par chiffres d'affaires annuels. Cette analyse croisée permet par exemple de ne pas sous-estimer un article de catégorie C, intéressant un client de catégorie A (comme l'article 08 pour le client C1 de la figure 5.5).

Figure 5.5 – Classement ABC articles/clients

Clients	Clients A			Clients B			Clients C				
	Articles	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A	02	*		*				*	*		*
	01	*	*		*	*	*				
	05		*	*		*					
B	07	*			*						
	04	*	*								
	03		*	*					*		
	10	*	*								*
C	06					*					
	08	*									
	09			*						*	

2.3.2 Classement introduisant des catégories supplémentaires

Dans le classement ABC tel que nous venons de le décrire, les résultats ne sont valables que si tous les articles concernés ont été utilisés dans un rythme normal de production sur toute la période analysée. Nous n'avons pas introduit la notion de cycle de vie du produit.

Cette remarque est particulièrement intéressante pour les produits nouveaux lancés au cours de la période d'analyse. Étant en phase de lancement, les ventes sont faibles et le volume des sorties est donc très faible (période courte, ventes faibles). Ces produits qui ne peuvent atteindre la classe A risquent donc d'être sous-estimés par l'analyse ABC, ce qui peut être dangereux, car ils représentent les marchés futurs de la société. Il faut donc traiter ces produits à part. Certains logiciels proposent d'ajouter une classe (N par exemple) qui regroupe ce type de produit.

De même, il est difficile de traiter, dans l'analyse globale, les produits anciens, dont la vente est devenue très rare mais qu'il faut néanmoins conserver en stock pour un éventuel service après-vente, notamment dans le cas des garanties décennales. Il y a donc lieu de créer une classe que l'on peut appeler D.

3. Les opérations de gestion des stocks

Si l'on veut être en mesure de connaître l'état des stocks d'une entreprise en permanence, leur gestion doit être réalisée avec soin. Parmi les opérations nécessaires, on trouve :

- le magasinage ;
- la gestion des entrées /sorties ;
- les inventaires.

3.1 Le magasinage

Les stocks d'une entreprise sont placés dans un ou plusieurs magasins afin qu'ils soient rangés entre leur réception et leur mise à disposition. Cette gestion suppose deux types d'organisation.

Gestion mono-magasin

Dans ce type d'organisation, tous les produits sont stockés et gérés dans un lieu unique. L'avantage en est de simplifier la gestion du stock, mais cela entraîne nécessairement de nombreuses manutentions, donc des délais et des coûts.

Gestion multi-magasins

Afin de minimiser les manutentions, on préfère parfois répartir les stocks dans plusieurs magasins. Chaque magasin regroupe les produits par type (produits finis, matières premières...) ou en fonction de la proximité géographique.

Pour les produits, on peut également dissocier deux modes de gestion.

Gestion mono-emplacement

Chaque article est stocké dans un et un seul emplacement. Ainsi le suivi des quantités de cet article est-il facilité, de même que les opérations d'inventaire sont simplifiées. Cependant, on retrouve l'inconvénient de la gestion mono-magasin : les problèmes de manutention.

Gestion multi-emplacements

Dans ce type de gestion, un article peut être stocké à plusieurs endroits. On facilite ainsi les opérations de manutentions, mais il devient difficile d'avoir une vision globale du stock. Outre les problèmes d'inventaire que ce type de gestion induit, il est possible d'avoir un article en rupture dans un emplacement, alors qu'il est disponible dans un autre emplacement. Cependant, ce type de gestion est plus en accord avec la gestion au point d'utilisation préconisée par l'approche de juste-à-temps.

3.2 La gestion des entrées/sorties

Afin de permettre un suivi des quantités en stock, chaque mouvement de stock (entrée ou sortie) doit faire l'objet d'une transaction. Pour que cette dernière soit optimale, il est souhaitable que les mouvements soient saisis en temps réel par le système informatique de gestion des stocks. On connaît ainsi à chaque moment l'état réel du stock.

La relation entre les quantités réellement en stock et les quantités indiquées par la gestion des stocks dépend de la rigueur avec laquelle les mouvements sont saisis. Toute erreur de saisie se traduira par un écart entre la réalité et les quantités indiquées dans les fichiers. Pour une gestion rigoureuse, il est indispensable de limiter l'accès des magasins aux seules personnes autorisées.

La gestion des entrées/sorties comprend deux types de transaction.

La réception

Elle consiste à entrer un produit dans le magasin. Pour ce type de transaction, il faut vérifier tant la conformité que la quantité des produits reçus.

La sortie

Les pièces demandées sont retirées du stock conformément à une commande client (produits finis) ou un bon de sortie (produits fabriqués).

3.3 Les inventaires

À tout moment, le gestionnaire doit être capable de fournir un état des stocks pour chaque référence en quantité et en emplacement. Pour vérifier la qualité de l'état des stocks (différence entre stock réel et image informatique du stock), il faut effectuer des *inventaires*, et éventuellement remettre à jour l'image informatique.

Un inventaire consiste en une opération de comptage des articles dans les rayons du magasin. On trouve principalement trois types d'inventaire.

L'inventaire permanent

Il consiste à tenir à jour en permanence les quantités en stock de chaque article grâce aux transactions.

L'inventaire intermittent

Il est en général effectué une fois par an en fin d'exercice comptable. Il est effectué pour tous les articles de l'entreprise, d'où une grosse charge de travail qui perturbe son activité.

L'inventaire tournant

Il consiste à examiner le stock par groupe d'articles et à vérifier l'exactitude en quantité et localisation de ces articles. On définit généralement des fréquences différentes d'inventaire tournant selon l'importance de l'article. On fera, par exemple, un inventaire trimestriel pour les articles de classe A, un inventaire semestriel pour les articles de classe B et un inventaire annuel pour ceux de la classe C.

4. Quantités économiques

4.1 Position du problème et définitions

Lorsque l'on souhaite approvisionner un produit, on cherche à diminuer au maximum le coût de revient. Pour cela, il faut ménager la « chèvre et le chou » constitués par :

- le coût de stockage (on veut stocker le moins de produits possible) ;
- le coût de lancement (on veut approvisionner le moins souvent possible).

On veut en fait optimiser *coût de stockage* et *coût de lancement*, et répondre aux deux questions suivantes :

- quand approvisionner ?
- combien approvisionner ?

4.1.1 Calcul du coût de stockage S

Stocker un produit coûte cher. Les principaux frais comprennent :

- l'intérêt du capital immobilisé qui va de 5 à 15 % en fonction des années ;
- le magasinage, loyer et entretien des locaux, assurance manutention, environ 6 % ;
- la détérioration (de 0 à 10 % selon les produits) ;
- les obsolescences (matériel périmé, vieilli, hors de mode).

Afin de globaliser l'ensemble de ces frais, on calcule un « **taux de possession** » annuel t % par euro de matériel stocké.

Le taux retenu varie actuellement de 20 à 35 % selon les catégories et articles. Certaines entreprises ont un taux de possession supérieur à 100 % du fait de la très rapide obsolescence de leurs produits (matériel informatique par exemple).

4.1.2 Calcul du coût d'une commande ou d'un lancement L

Le coût d'une commande à l'extérieur s'établit en calculant le total des frais de fonctionnement du service achat et du service réception achat. On divise ce total par le nombre total annuel de lignes de commandes (c'est-à-dire un article unique, une quantité, un prix, un délai).

Ce coût varie de presque rien à plus de 150 € si, par exemple, les discussions techniques et mises au point doivent aboutir à la définition d'un cahier des charges.

Le coût de lancement comporte les frais administratifs. On divise les frais annuels du service ordonnancement par le nombre de lancements effectués. Il comporte également les coûts techniques dus aux salaires des régleurs et à l'immobilisation de la machine. Dans certains cas s'ajoutent des frais importants de purge, de nettoyage...

Coût annuel d'approvisionnement ou de lancement A

On parle de coût annuel d'approvisionnement ou de lancement selon qu'il s'agit d'un achat ou d'un lancement en fabrication.

Le coût annuel d'approvisionnement est le total des coûts de lancement pour un article sur une année.

$$A = L \times (\text{Nombre d'approvisionnements})$$

4.2 Minimisation du coût total C

Pour résoudre ce problème, on établira les hypothèses simplificatrices suivantes :

1. Les coûts sont proportionnels au nombre de pièces achetées (il n'y a pas de rabais pour quantité).
2. Il n'y a pas de pénurie (pas de coût pour rupture de stock).
3. La demande est régulière.
4. Les coûts de stockage et de commande ou lancement sont définis et constants.

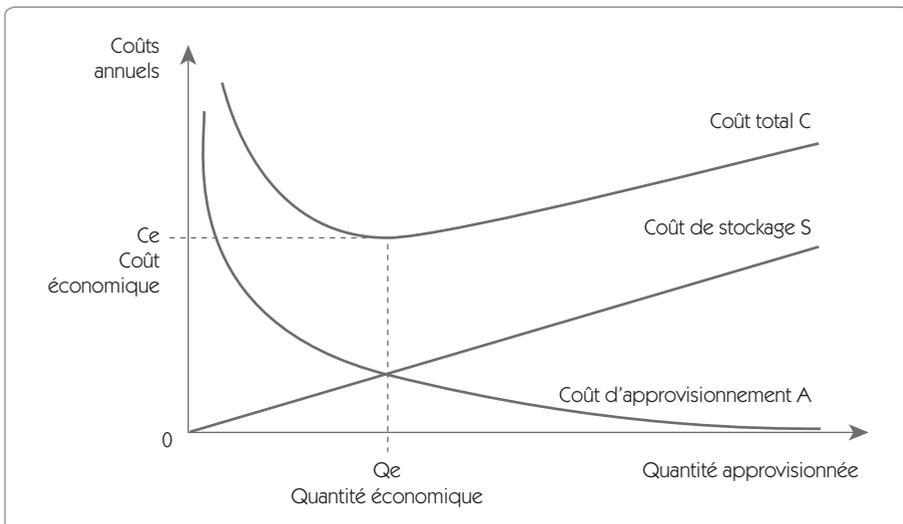
Soient N le nombre annuel de pièces consommées
et Q la quantité approvisionnée ou lancée à chaque période.

Nous avons vu au paragraphe 1.4 « Optimisation du niveau de stock » que, si l'on suppose la demande régulière, le stock moyen est $Q/2$. En considérant la première hypothèse, sa valeur est $(Q/2)a$ si a est le coût de la pièce.

Compte tenu du taux de possession défini au § 4.1.1 de ce chapitre, le coût de stockage est donc :

$$S = \frac{Q}{2}at$$

Figure 5.6 – Coût économique et quantité économique



Le nombre de commande est N/Q , d'où un coût d'approvisionnement :

$$A = \frac{N}{Q}L$$

Si N est la quantité consommée et a le prix unitaire, le coût de d'acquisition est de Na .

Le coût total est donc :

$$C = Na + \frac{N}{Q}L + \frac{Q}{2}at$$

On cherche la quantité Q_e qui rend ce coût le plus faible possible. Le

minimum de C correspond à $\frac{\partial C}{\partial Q} = 0$, soit :

$$\frac{\partial C}{\partial Q} = \frac{\partial}{\partial Q} \cdot \left(\frac{N}{Q} \cdot L + \frac{Q}{2} \cdot at + Na \right) = -\frac{NL}{Q^2} + \frac{at}{2} = 0$$

$$\text{d'où } Q_e = \sqrt{\frac{2NL}{at}}$$

Cette expression, appelée « formule de WILSON », donne la quantité économique d'approvisionnement Q_e .

Application numérique

$$N = 200\ 000 \text{ pièces par an}$$

$$L = 150 \text{ €}$$

$$t = 20 \%$$

$$a = 10 \text{ €}$$

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \times 200\ 000 \times 150}{10 \times 0,2}} = 5\ 477$$

et on approvisionnera tous les $\frac{265 \times 5\ 477}{200\ 000} = 10$ jours.

4.3 Cas des remises

Dans l'application que nous venons de traiter, le coût des produits est supposé constant quelle que soit la quantité de produit approvisionnée. Ce n'est pas toujours le cas, il y a parfois des remises en fonction de la quantité. Le calcul de la quantité économique diffère alors légèrement par rapport au cas précédent. Le coût total n'est pas une courbe continue comme dans le cas précédent, mais la succession de plusieurs courbes (figure 5.7). L'optimum n'est pas forcément la quantité économique. Étudions ce cas à partir d'un exemple.

Une entreprise veut approvisionner un produit dont la consommation annuelle est $N = 20\ 000$.

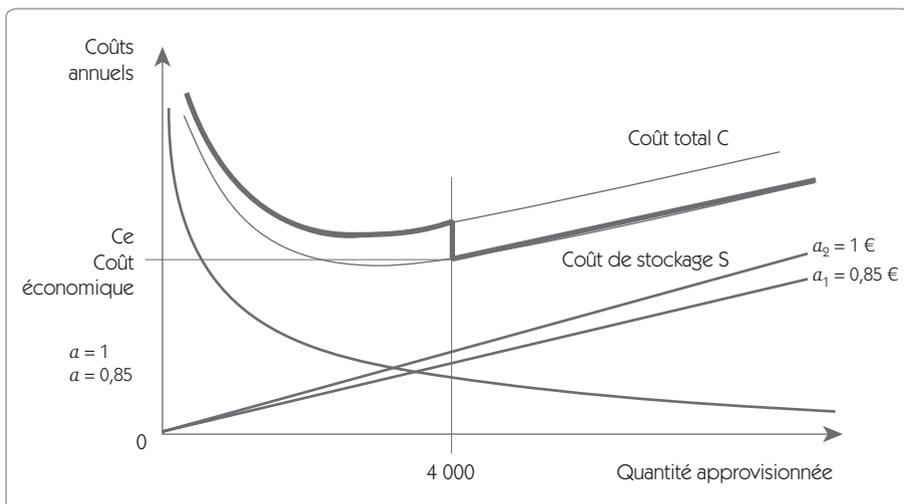
Les tarifs sont les suivants :

Quantité $\geq 4\ 000$	$a_1 = 0,85\ \text{€}$
Quantité $< 4\ 000$	$a_2 = 1\ \text{€}$

Le coût d'une commande est $L = 50\ \text{€}$

Le taux de possession est $t = 20\ \%$

Figure 5.7 – Cas des remises



Calcul de la quantité économique pour 85 €

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2NL}{a_1 t}} = \sqrt{\frac{2 \times 20\,000 \times 50}{0,85 \times 0,2}} = 3\,430$$

La quantité économique ne fait pas partie de la zone de validité du prix ; il est inutile de calculer le coût total pour cette quantité. Si la quantité économique avait été supérieure à 4 000, il aurait fallu retenir cette solution. Comme cela n'est pas le cas ici, il faut calculer le coût total pour Q_e (1 €) et pour le Q de rupture (4 000 produits, quantité minimale pour les obtenir à 0,85 €).

Calcul de la quantité économique pour 1 €

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2NL}{a_2 t}} = \sqrt{\frac{2 \times 20\,000 \times 50}{1 \times 0,2}} = 3\,162$$

La quantité économique fait partie de la zone de validité du prix. On calcule alors le coût total pour cette quantité :

$$C = Na + \frac{N}{Q}L + \frac{Q}{2}at$$

$$C_2 = 20\,000 \times 1 + \frac{20\,000}{3\,162} \times 50 + \frac{3\,162}{2} \times 1 \times 0,2 = 20\,632 \text{ €}$$

Calcul du coût total pour la quantité de rupture ($Q_3 = 4\,000$)

$$C = Na + \frac{N}{Q}L + \frac{Q}{2}at$$

$$C_3 = 20\,000 \times 0,85 + \frac{20\,000}{4\,000} \times 50 + \frac{4\,000}{2} \times 0,85 \times 0,2 = 17\,590 \text{ €}$$

Le coût total pour la rupture C_3 étant inférieur au coût total pour 1 € (C_2), on retiendra comme quantité :

$Q_3 = 4\,000$ et il y aura $20\,000/4\,000 = 5$ réapprovisionnements par an.

4.4 Coût économique et zone économique

La courbe $C = f(Q)$ présente un optimum relativement plat, d'où la notion de zone économique, une zone de faible variation du coût d'approvisionnement autour du coût d'approvisionnement économique.

Le coût total étant donné par : $C = Na + \frac{N}{Q}L + \frac{Q}{2}at$

le coût économique vaut : $C_e = Na + \frac{N}{Q_e}L + \frac{Q_e}{2}at$

On définit l'écart économique : $E = C - C_e = C(Q) - C(Q_e)$ auquel correspond la zone économique Z_e (figure 5.8).

Un développement de Taylor limité au deuxième ordre (en négligeant le reste) donne :

$$C(Q) = C(Q_e) + (Q - Q_e)C'(Q_e) + \frac{(Q - Q_e)^2}{2}C''(Q_e)$$

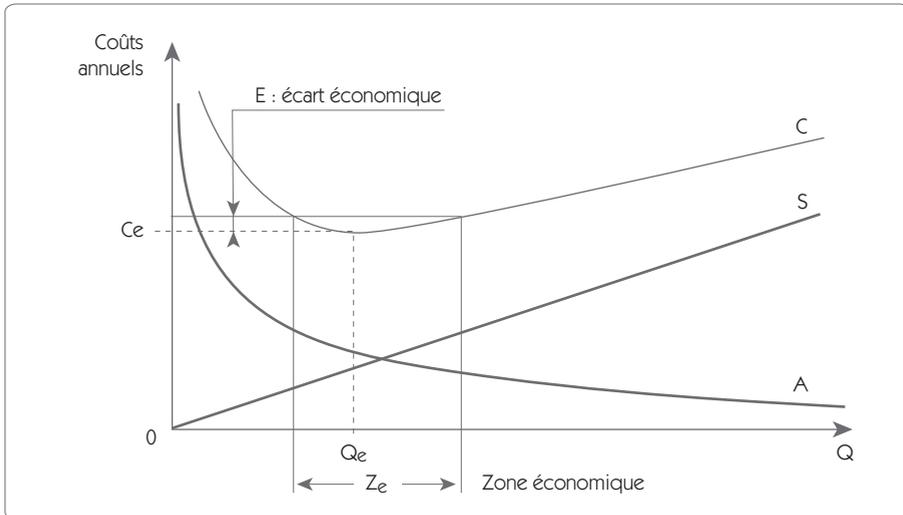
or $C'(Q_e) = 0$ puisque Q_e correspond au minimum de C

et, en dérivant $C' = \frac{\partial C}{\partial Q}$, on calcule $C''(Q_e) = \frac{2NL}{Q_e^3}$

On a donc :

$$E = C - C_e = \frac{NL}{Q_e^3} \times (Q - Q_e)^2$$

Figure 5.8 – Coût économique et zone économique



On montre bien ainsi que l'écart économique est faible puisque la quantité économique Q_e intervient à la puissance trois et au dénominateur.

Pour un certain écart économique E , on peut déterminer la fourchette autour de la quantité Q_e :

$$Q - Q_e = \pm \sqrt{\frac{EQ_e^3}{NL}}$$

5. Méthodes de réapprovisionnement

5.1 Introduction

Une entreprise doit posséder en temps voulu les matières et les produits nécessaires à la production, à la maintenance et à la vente. Pour cela, il faut déterminer quelles quantités commander et à quelles dates, afin que le coût global soit le moins élevé possible. Ce problème est naturellement indissociable de la gestion des stocks.

Cette politique étant fondée sur des prévisions (peut-être incertaines), le mode de réapprovisionnement choisi doit faire preuve d'une grande souplesse pour qu'il puisse être adapté en cas d'erreurs de prévision.

Les différents modes d'approvisionnement s'articulent autour de deux paramètres :

- la quantité commandée qui peut être fixe ou variable ;
- le réapprovisionnement auquel il peut être procédé à périodes fixes ou variables.

Cela permet d'envisager quatre méthodes :

	Période fixe	Période variable
Quantité fixe	Méthode du réapprovisionnement fixe	Méthode du point de commande
Quantité variable	Méthode du remplètement périodique	Approvisionnement par dates et quantités variables

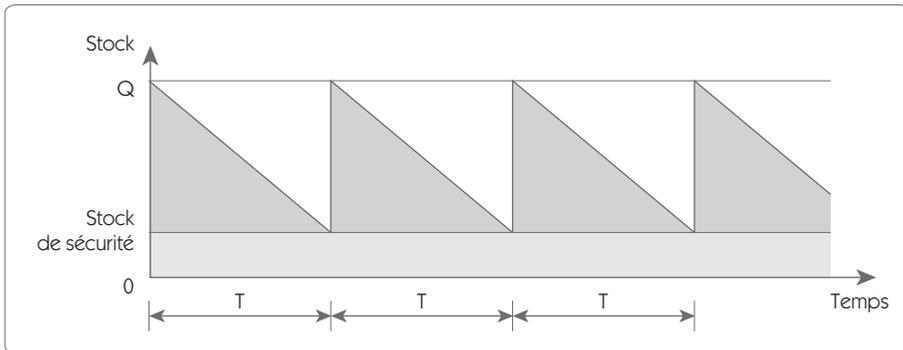
Nous allons étudier ces diverses méthodes en commençant par la plus simple.

5.2 Méthode du réapprovisionnement fixe (période et quantité fixes)

Exemple : 1000 vis tous les 10 du mois.

Ce type de contrat, extrêmement simple, constitue plus un cas d'école qu'une réalité d'entreprise compte tenu de la régularité qu'il implique. Il peut être utilisé pour les articles de faibles valeurs (catégorie C de l'analyse ABC) dont la consommation est régulière et qui ne sont pas fabriqués par l'entreprise.

Figure 5.9 – Réapprovisionnement à dates fixes et par quantités fixes



On définit un stock de sécurité qui est un stock supplémentaire servant à protéger l'entreprise d'une rupture en cas d'aléas.

Les quantités commandées seront voisines de la quantité économique, le stock de sécurité pouvant être réduit (il y a, en effet, peu de risques de pénurie sur les pièces concernées, les délais de livraison étant assez stables).

5.3 La méthode du remplètement périodique (dates fixes, quantités variables)

Cette méthode consiste à reconstituer de façon régulière le stock pour atteindre une valeur de remplètement appelée ici Q_m .

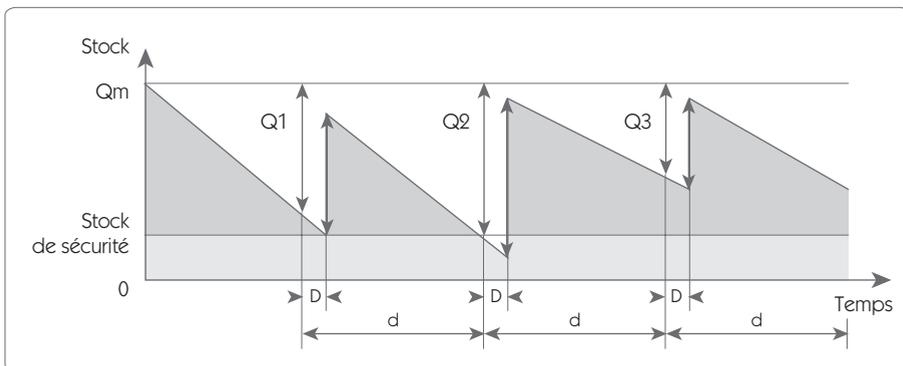
Pour calculer le niveau de reapprovisionnement Q_m , il faut tenir compte de la consommation moyenne par unité de temps (C), du délai de réalisation ou d'approvisionnement de l'article (D), de la période de passation des commandes ou de lancement (d) et d'un stock de sécurité dimensionné pour éviter des ruptures dues à la variabilité de la consommation réelle (SS).

$$Q_m = C \times (D + d) + SS$$

Exemple : tous les 10 du mois, le magasinier passe une commande de vis en fonction du niveau de stock constaté, afin de porter ce dernier à 2 000 vis.

Dans le cas de cette méthode, on suppose que la consommation est régulière et que la consommation annuelle est connue. Il est possible de fixer la périodicité des commandes à partir de la formule de Wilson (voir exemple plus haut paragraphe 4.2 « Minimisation du coût total C »).

Figure 5.10 – Méthode du reapprovisionnement



Calcul de la quantité à commander à chaque période : Q_i

$$Q_i = Q_m - \text{stock de l'article au moment de passer la commande}$$

Une telle politique d'approvisionnement présente l'intérêt principal de permettre de grouper sur une même commande plusieurs articles différents achetés chez un même fournisseur.

On distinguera ainsi les commandes annuelles, semestrielles, bimestrielles..., et on répartira les différentes commandes de façon à équilibrer le planning d'activité du service.

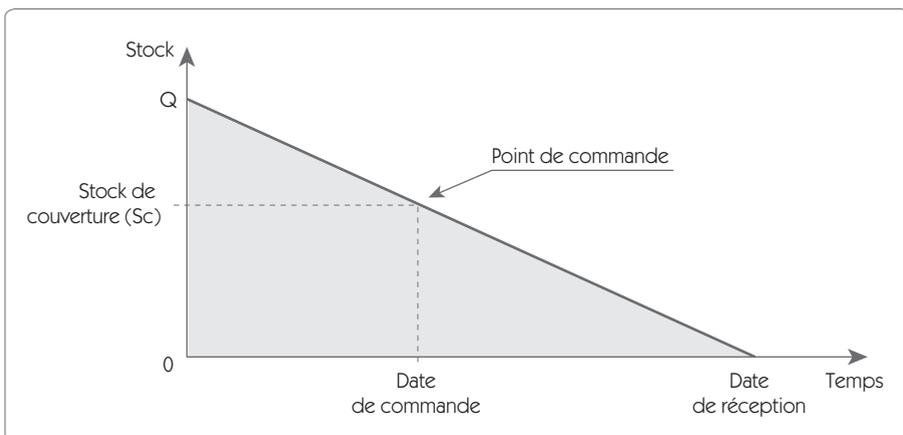
5.4 Méthode du point de commande (quantités fixes, dates variables)

Exemple : dès que le stock de vis atteint la valeur limite de 250 unités, déclencher une commande de 1 000 pièces.

5.4.1 Le point de commande

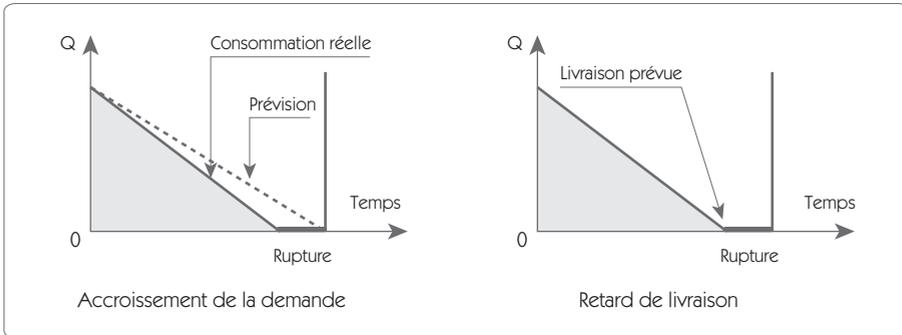
Le point de commande est le niveau de stock qui permet de déclencher l'ordre d'approvisionnement ou le lancement en fabrication. Il est défini comme étant le niveau de stock nécessaire pour couvrir les besoins durant le délai d'approvisionnement.

Figure 5.11 – Le point de commande



Le schéma présenté en figure 5.11 est bien sûr purement théorique. Le délai d'approvisionnement n'est pas sans aléa, sans compter que la consommation peut être plus importante que prévue (figure 5.12).

Figure 5.12 – Rupture de stock

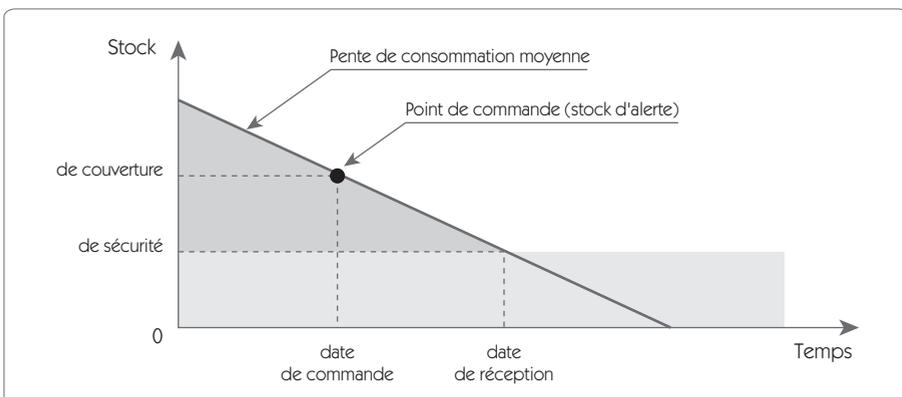


Le problème posé consiste à évaluer :

- le délai d’approvisionnement moyen probable ;
- la consommation moyenne probable pendant le délai d’approvisionnement ;
- les écarts probables de consommation ;
- les écarts éventuels de délai.

Afin d’éviter la rupture de stock, on prévoit un stock de sécurité qui permette d’absorber « l’imprévisible ».

Figure 5.13 – Stocks de couverture et de sécurité



Pour calculer le point de commande (PC), il faut tenir compte de la consommation moyenne par unité de temps (C), du délai de réalisation ou d'approvisionnement de l'article (D), et d'un stock de sécurité dimensionné pour éviter des ruptures dues à la variabilité de la consommation réelle (SS).

$$PC = C \times D + SS$$

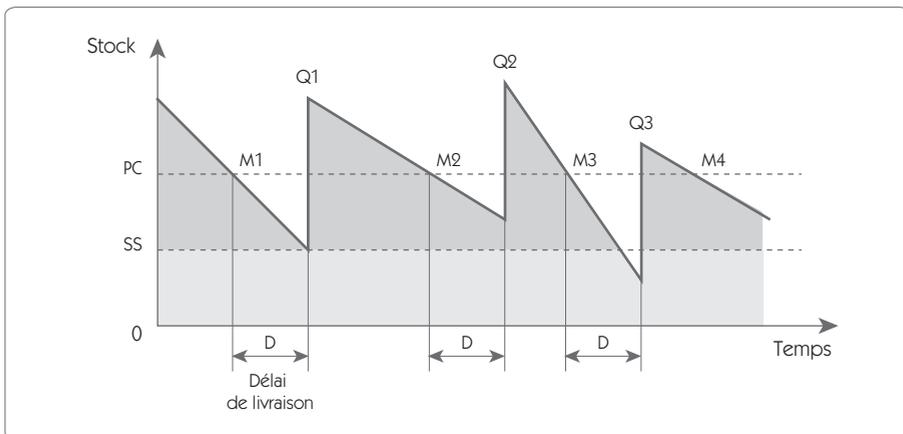
Pour leur part, les quantités commandées peuvent être calculées grâce à la formule de la quantité économique (formule de Wilson). Le gestionnaire suit l'évolution du stock aussi fréquemment que possible afin de détecter le franchissement du point de commande.

Remarquons que :

- le stock de couverture est un *stock vivant* ;
- le stock de sécurité est un *stock dormant*.

La figure 5.14 illustre le cycle de commande : lorsque la quantité en stock atteint le niveau d'alerte (points M_j), on déclenche une commande. Dans le cas M_3 , le stock de sécurité évite la rupture de stock.

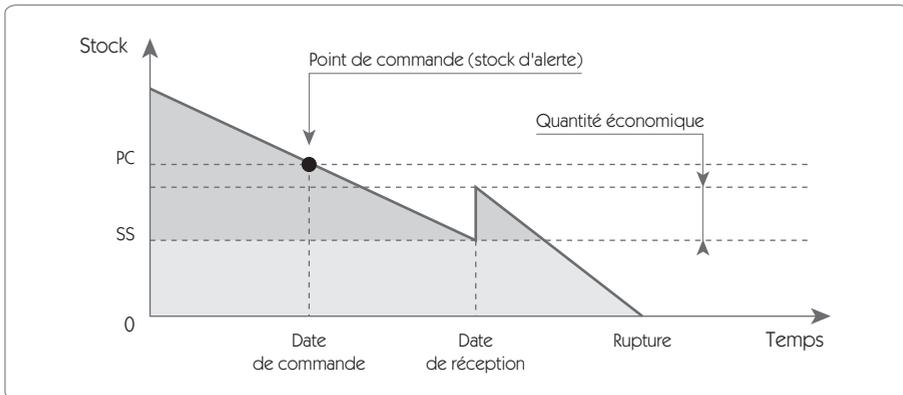
Figure 5.14 – Réapprovisionnement constant avec point de commande et stock de sécurité



Un problème se pose dans le cas où la quantité économique d'achat ne permet pas au stock de passer au-dessus du point de commande.

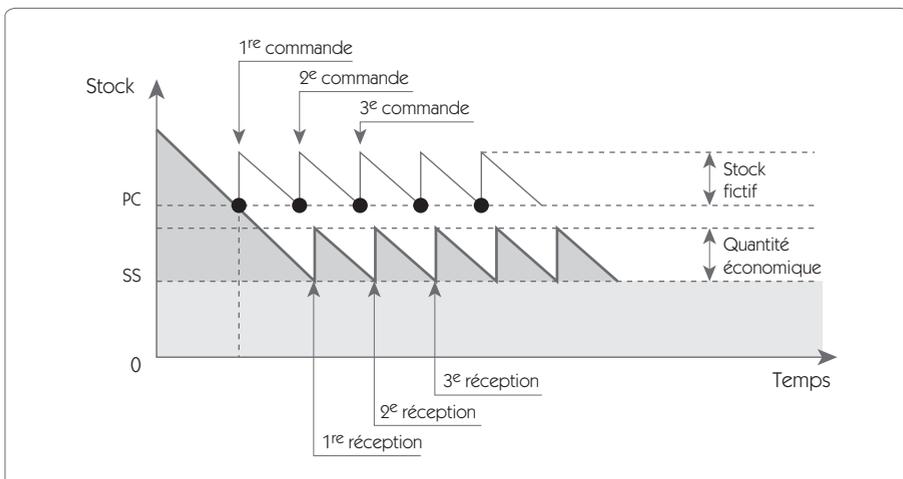
Le risque de rupture est illustré par la figure 5.15. Dans ce cas, il faut raisonner sur un stock fictif.

Figure 5.15 – Rupture de stock par quantité économique inférieure au point de commande



Le point de commande est alors pris en tenant compte du stock de sécurité ajouté au stock nécessaire pour couvrir le délai d'approvisionnement. On définit alors un *stock fictif* (figure 5.16) réapprovisionné dès le déclenchement de la commande. Une nouvelle commande est alors passée lorsque le stock fictif atteint le point de commande.

Figure 5.16 – Stock fictif permettant d'éviter la rupture



Dans l'exemple de la figure 5.16, on note que la deuxième commande est alors passée avant que la première réception ne soit arrivée.

5.4.2 Calcul du stock de sécurité

Problème : on veut calculer le stock de sécurité permettant d'avoir x % de chance de ne jamais être en rupture de stock.

Ce problème n'est pas simple car la demande n'est pas constante mais aléatoire. De plus, les délais de livraison ou de fabrication sont eux-mêmes aléatoires.

Voyons deux méthodes qui permettent d'évaluer le stock de sécurité.

5.4.2.1 Utilisation de la répartition de GAUSS

Délai de livraison fixe

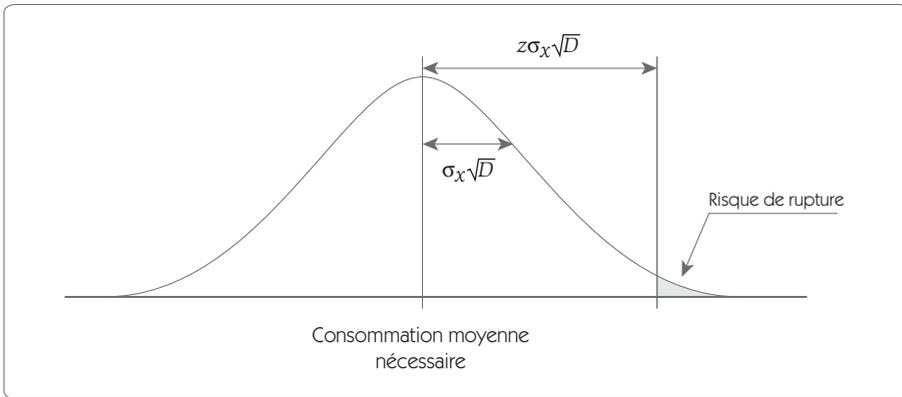
Nous considérons un laps de temps T comprenant un assez grand nombre de périodes et faisons les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Le délai de livraison D est fixe.
- La consommation varie autour d'une moyenne sur une période x et selon une loi normale d'écart type σ_x .
- Sur le laps de temps T , on considère que les périodes sont indépendantes.

Il y a donc additivité des variances : $\sigma_{x,D}^2 = \sigma_x^2 D$.

La consommation sur une période D suit donc une loi normale d'écart type : $\sigma_{x,D} = \sigma_x \sqrt{D}$.

Figure 5.17 – Évaluation statistique du risque de rupture



Le stock de sécurité est donc égal à :

$$S = z \sigma_x \sqrt{D}$$

où z est la variable réduite associée au risque de rupture choisi :

Risque de rupture	30 %	20 %	10 %	5 %	2,5 %	1 %	0,1 %
z correspondant	0,52	0,84	1,28	1,64	1,96	2,33	3,09

On note tout de suite l'intérêt fondamental qu'il y a à réduire de façon considérable le délai de fabrication ou de livraison afin de pouvoir diminuer le stock dit de sécurité.

Consommation fixe

Soit σ_l (jours), l'écart type de la variation sur le délai de livraison.

Effectuons un changement de variables jour \rightarrow consommation :

$$\sigma_l(\text{Conso}) = (\text{Consommation/jour}) \times \sigma_l(\text{jours})$$

Le stock de sécurité est donc égal à : $S = z \times \sigma_l$

où z est la variable réduite associée au risque de rupture choisi.

Consommation et délai variables

La consommation et le délai étant des variables indépendantes, on peut appliquer le théorème d'additivité des variances :

$$\sigma^2 = \sigma_l^2 + D\sigma_{x,D}^2 \quad \text{Le stock de sécurité est alors égal à : } S = z\sigma.$$

Exemple

Considérons un article de consommation suivant une loi de Gauss de moyenne hebdomadaire $\bar{x} = 50$ et d'écart type $\sigma_x = 5$.

Le délai moyen de livraison est de 4 semaines (20 jours) avec une variation d'écart type de 2 jours ($\sigma_l = 2$).

En considérant le délai fixe, on peut calculer :

$$\sigma_{x,D}^2 = D\sigma_x^2 = 4 \times 5^2 = 100$$

En considérant la consommation fixe, on peut calculer :

$$\sigma_l(\text{Conso}) = (\text{Consommation/jour})\sigma_l(\text{jours}) = 10 \times 2 = 20 \quad \text{soit } \sigma_l^2 = 400$$

En considérant la consommation et le délai variable, on peut calculer :

$$\sigma^2 = \sigma_l^2 + D\sigma_{x,D}^2 = 400 + 100 = 500 \quad \text{soit } \sigma = 22,36$$

En acceptant un risque de rupture de 2,5 % ($z = 1,96$) le stock de sécurité est alors :

$$S = z\sigma = 1,96 \times 22,36 = 44 \text{ pièces}$$

5.4.2.2 Utilisation des tirages croisés (méthode de Monte Carlo)

Dans la démarche précédente, nous avons supposé que la distribution des consommations et des délais de livraisons (ou de fabrication) étaient de type gaussien. Ce n'est bien entendu pas toujours le cas. Les distributions ne suivent parfois aucune des distributions classiques.

Méthodologie

Le problème consiste à prévoir la consommation pendant la durée qui sépare la commande et la réception. D'après l'historique de l'entreprise, on établit par exemple un tableau C comportant les délais d'obtention des 15 dernières commandes et un tableau P des 100 dernières productions journalières. On peut alors déterminer la distribution de la consommation pendant le laps de temps qui s'écoule entre commande et réception, en appliquant le petit algorithme suivant qui consiste à faire des tirages aléatoires des consommations pendant l'historique des délais.

DÉBUT

```

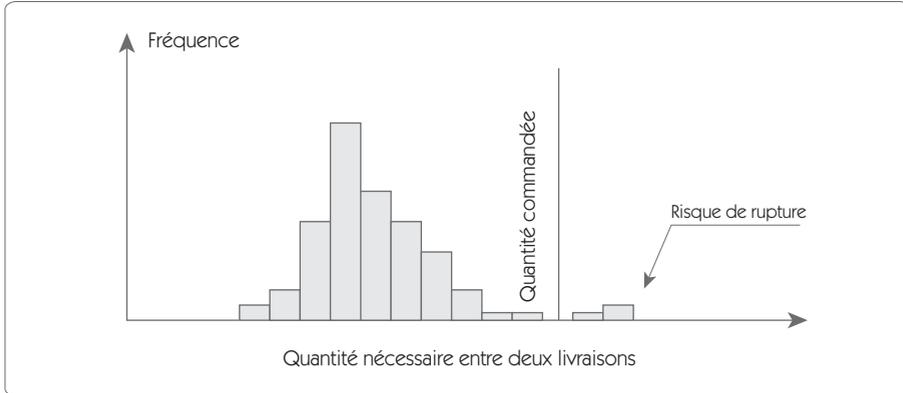
  Pour i : = 1 à 1 000 Faire
    Consommation : = 0
    Tirer-Hasard Délai dans C
    Pour j : = 1 à Délai Faire
      Tirer Hasard Production dans P
      Consommation : = Consommation + Production
    Fin Faire
    Distribution[i] : = Consommation
  Fin Faire
  Tracer histogramme(Distribution)

```

FIN

L'histogramme généré ne suit pas une loi normale ; on trouve une quelconque distribution, représentative toutefois de la production considérée en fonction de l'historique. Le stock de sécurité est déterminé par estimation sur l'histogramme obtenu (figure 5.18).

Figure 5.18
Détermination de la quantité par la méthode de Monte Carlo



5.5 Approvisionnement par dates et quantités variables

Cette méthode concerne la gestion d'articles coûteux appartenant donc à la catégorie *A* (de la classification ABC) dont les prix varient et qui présentent un caractère plus ou moins spéculatif ou stratégique (métaux et diamants en particulier).

L'attention demandée par cette méthode ne la rend exploitable que pour un nombre très réduit d'articles : au plus une dizaine par gestionnaire.

6. Domaine d'application des méthodes traditionnelles de gestion des stocks

6.1 Les limites de la gestion des stocks traditionnelle

Les techniques de calculs que nous venons d'exposer dans ce chapitre ont un domaine d'application relativement réduit dans une gestion de production moderne. Dans leur utilisation, ces méthodes présentent en effet des limites.

Les hypothèses de départ

Il est procédé aux calculs dans le cadre d'hypothèses simplificatrices qui seront rarement vérifiées dans la pratique. Rappelons les principales hypothèses :

1. Il n'y a pas de pénurie (pas de rupture de stock).
2. La demande est régulière.
3. Les coûts de stockage et de commande ou lancement sont définis et constants.

En fait, les données du calcul sont variables (quantités consommées non régulières, coûts des commandes et des lancements variables...). L'utilisation de ce type de méthode de gestion des stocks doit donc être limitée aux cas de figures se rapprochant le plus possible des hypothèses simplificatrices.

La philosophie sous-jacente ne pousse pas à l'amélioration continue

La gestion de production moderne, quelle qu'elle soit, tend vers des stocks aussi faibles que possible conduisant à un coût de stockage minimal. Toutefois, il est alors nécessaire d'effectuer de nombreux lancements (et commandes) agissant sur le coût total. Au lieu de contourner le coût de ces lancements répétés par un approvisionnement en quantités importantes, une autre manière de voir les choses consiste à s'attaquer au problème lui-même : abaisser le coût de lancement ou le coût de commande.

Cela a engendré tous les progrès spectaculaires obtenus dans la réduction du temps et coûts de changement de série. C'est évidemment cette attitude que doit avoir le gestionnaire de production actuel. De même, par des relations de partenariat entre fournisseur et client, on peut établir des contrats en commande ouverte qui minimisent la quantité de papier nécessaire pour chaque livraison.

On ne tient pas compte du couplage entre le besoin en produits finis et le besoin en composants

Les méthodes de gestion des stocks exposées dans ce chapitre sont totalement inadaptées pour la gestion des composants entrant dans la fabrication d'un produit fini. En effet, dans ce cas, il ne faudra pas approvisionner en fonction de la consommation du composant, mais en fonction de la demande prévisionnelle compte tenu du programme de fabrication du produit fini. On utilise alors la méthode MRP (voir chapitre 7) qui est beaucoup plus adaptée.

En effet, dans les hypothèses de la gestion traditionnelle des stocks, le couplage entre la demande en produits finis (demande client) et le besoin en composants n'est donné que par l'historique :

- consommation moyenne ;
- délais de réapprovisionnement.

En cas d'augmentation brutale de la consommation, les méthodes exposées ci-avant conduisent inévitablement à une rupture de stock, car les commandes reçues n'interviennent pas dans le calcul des ordres d'achat. Parallèlement, en cas de diminution brutale de la consommation, les méthodes de gestion des stocks conduisent à un gonflement excessif de ces derniers. Il est alors indispensable d'utiliser des méthodes qui lient les commandes aux achats de façon structurée.

Dans le cas contraire, le gestionnaire pilote ses stocks à l'image d'un conducteur avançant dans le brouillard et se dirigeant grâce à ses rétroviseurs !

Le facteur temps n'intervient pas

Selon la manière traditionnelle de gestion des stocks décrite précédemment, seul l'aspect volume est pris en compte. Une deuxième dimen-

sion, pourtant essentielle, n'intervient pas : le temps. Nous verrons dans cet ouvrage que la méthode MRP introduit cette donnée essentielle grâce à une planification dans le temps des besoins et des ordres.

6.2 Les domaines d'application

Bien que les restrictions apportées soient importantes, il est encore des domaines où la gestion des stocks traditionnelle reste parfaitement adaptée. C'est le cas de l'approvisionnement des matériels comme le matériel de bureau pour une grande entreprise. La demande est indépendante, à peu près constante, les hypothèses sont donc vérifiées.

On peut également utiliser ces méthodes pour gérer des consommations plus industrielles telles que l'outillage, les fluides consommables, ou encore des pièces de très faibles valeurs.

Aussi, bien que le domaine d'application soit relativement restreint, la gestion des stocks traditionnelle concerne encore de nombreux articles importants pour la compétitivité des entreprises.

7. Les unités de stockage

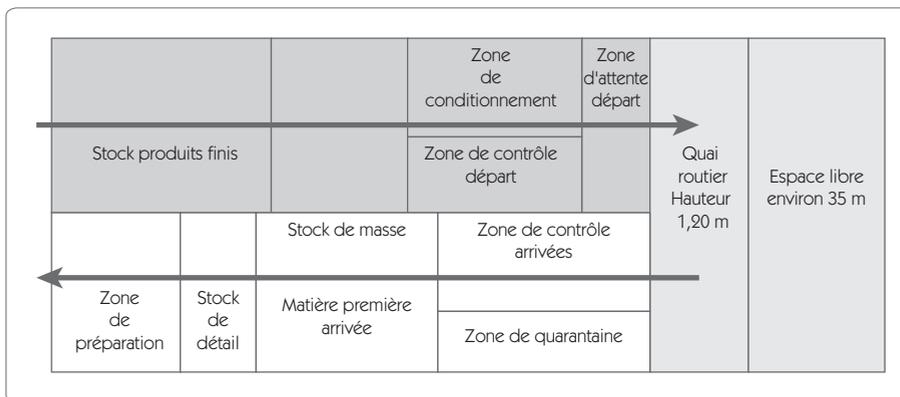
Même si une gestion de production idéale devrait conduire à une production sans stock, il n'est pas possible de concevoir une unité de production sans zone de stockage ; leur conception doit répondre à des critères très similaires à ceux que l'on a décrits dans le cas d'une unité de production (voir chapitre 2) :

- minimiser les surfaces nécessaires ;
- minimiser les opérations de transports ;
- garantir la sécurité des biens et des personnes.

7.1 Les différentes zones d'un lieu de stockage

Comme le montre la figure 5.19, une zone de stockage ne se limite pas à un empilage de rayonnages, mais il convient de dissocier différentes zones, aussi bien pour un flux entrant que pour un flux sortant.

Figure 5.19 – Différentes zones d'un stock



Flux entrant

- Le quai de déchargement : sur lequel arrivent les palettes et/ou produits par route ou voie ferrée.
- La zone de contrôle arrivée : dans cette zone sera traité l'ensemble des contrôles qui sont prévus à l'arrivée d'un colis. Ce peut être un contrôle simplement administratif des documents ou cela peut être également un contrôle des produits par échantillonnage, ou exhaustif.
- La zone de quarantaine : parfaitement définie, en principe repérée en rouge, cette zone permet d'isoler les lots en attente de décision après un contrôle qui n'a pas donné satisfaction. Les lots sont alors isolés afin d'éviter qu'ils ne se mélangent au flux normal de production.
- Le stock de masse : ce stock est généralement un stock de palettes. Les palettes sont empilées sur de grandes hauteurs dans des palettiers (étagères spécialement conçues pour palettes).
- Le stock de détail : comme il n'est pas très pratique de préparer les ordres de fabrication (*OF*) en faisant le tour du stock de masse, on crée parfois un stock de détail qui permet de rassembler dans un périmètre réduit l'ensemble des produits nécessaires à la préparation des commandes. Le stock de détail est alimenté par le stock de masse.

- La zone de préparation : c'est le lieu où le magasinier/préparateur d'OF prépare les ordres de fabrications générés par le système de gestion de production.

Flux sortant

- Le stock produits finis qui rassemble l'ensemble des produits finis de l'entreprise en attente de livraison client.
- Zone de consolidation : dans cette zone, on va rassembler l'ensemble des éléments présents sur la commande d'un client.
- Zone de conditionnement : cette zone permet de conditionner la commande et d'imprimer l'ensemble des éléments nécessaires aux traitements administratifs de la livraison.
- Zone de contrôle départ : permet un dernier contrôle qualité et/ou un comptage des produits avant emballage.
- Zone d'attente départ : les caisses ou palettes sont organisées dans cette zone en fonction des destinations pour optimiser le temps de chargement des camions.

7.2 Les principaux systèmes de stockage

Le problème du stockage a toujours été un problème de gain de place. Les constructeurs de système de rangements font preuve d'une grande ingéniosité pour réduire cette place et optimiser le travail des magasiniers.

Le stockage fixe

Figure 5.20 – Stockage sur étagère (www.feralp.fr)



Le stockage par étagère est le plus classique, il permet de stocker des éléments sur les deux faces. Les allées sont de 80 cm au minimum si le préparateur se déplace à pied. Elles doivent être de 1,20 à 1,40 m dans le cas de l'utilisation d'un moyen de manutention.

Le stockage par étagères mobiles

Le système d'étagères mobiles permet un gain de place au sol considérable. La capacité de stockage est augmentée de 80 à 90 % par rapport à une installation fixe, en fonction de la géométrie du local. Le déplacement des chariots peut être manuel, mécanique ou électrique. La longueur des rayonnages peut atteindre 12 mètres et la charge jusqu'à 8 tonnes. L'inconvénient du système réside en ceci qu'il faut déplacer chaque fois les étagères pour accéder à un produit. On utilise donc généralement ce type de rangement pour des stockages dont la fréquence d'entrées /sorties est faible (archivage par exemple).

Figure 5.21 – Stockage sur étagères mobiles (www.feralp.fr)



Le stockage rotatif

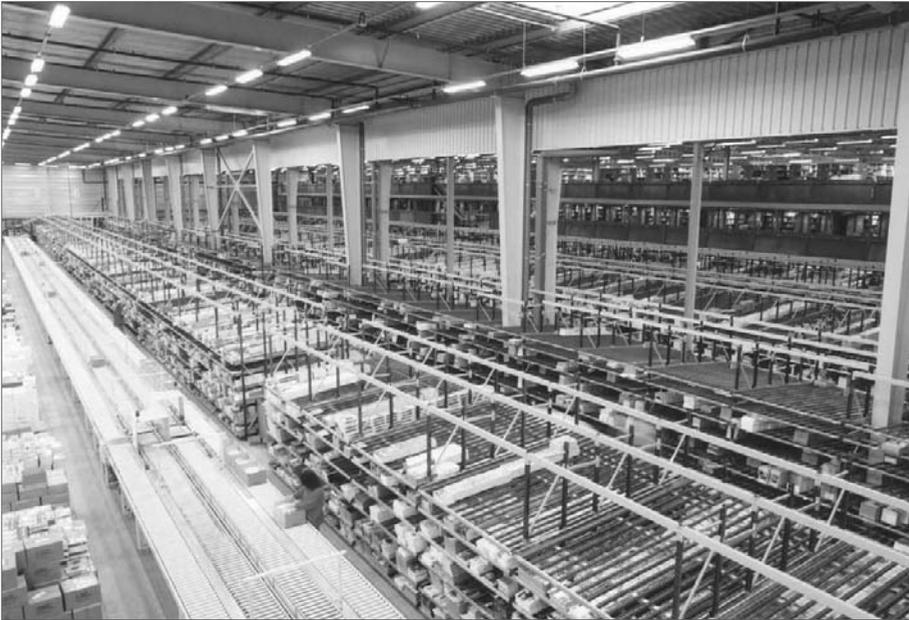
Figure 5.22 – Stockage rotatif (www.electroclass.com)



Le stockage rotatif exploite toute la hauteur des locaux – comme un rayonnage vertical – mais la mise à disposition des produits se fait toujours à hauteur d’homme. En outre, il permet de stocker les pièces en optimisant la hauteur sans aucune perte d’espace et procure ainsi une capacité de stockage maximale pour un encombrement au sol minimal. Ce système est particulièrement adapté pour le stockage de petites pièces.

Le stockage dynamique

Figure 5.23 – Stockage dynamique (www.feralp.fr)



Les systèmes de stockage précédents sont appelés des stockages par accumulation. On pose les produits les uns devant les autres, si bien que le dernier produit stocké sera le premier sorti. On appelle cela du stockage LIFO, *Last Input First Output* dernier entré, premier sorti. Cette méthode peut présenter de graves inconvénients notamment en cas de risques d'obsolescence des produits. Le stockage dynamique permet de corriger cela en permettant un stockage FIFO (premier entré, premier sorti).

Voici les avantages du stockage dynamique :

- amélioration et optimisation du travail de préparation des commandes (réduction des déplacements et de la manutention des préparateurs et magasiniers) ;
- augmentation de la capacité de stockage de 20 à 30 %, par la suppression d'allées de circulation ;
- zone de prélèvement distincte de la zone d'approvisionnement ;

- visualisation rapide de l'état des stocks ;
- réduction des risques d'accidents par la suppression d'allées et venues ;
- stockage en rotation continue.

On peut l'utiliser pour stocker des cartons, des bacs et des palettes.

8. Conclusion

Les stocks constituent un « mal nécessaire » pour tout système de gestion industrielle. Ils apportent de la souplesse en masquant de nombreux problèmes mais leur coût est élevé. Gérer les stocks est donc un impératif pour maîtriser leurs niveaux au juste nécessaire.

Dans ce chapitre, nous avons développé les méthodes de gestion utilisées lorsqu'il y a **indépendance** de la demande des différents composants. On détaillera notamment dans le chapitre sur le MRP d'autres approches beaucoup plus adaptées pour faire cette gestion lorsqu'il y a **dépendance** de la demande au sens du principe d'Orlicky que nous détaillerons dans ce chapitre. Cependant, les méthodes traditionnelles sont toujours d'actualité pour la gestion d'un grand nombre de composants.

Nous avons également profité de ce chapitre pour évoquer l'organisation d'une unité de stockage et les grands types de matériels proposés aux industriels pour économiser de l'espace.

Chapitre 6

Fonctions, documents et données techniques

1. Introduction

La gestion de la production a pour objet la maîtrise des flux physiques. Pour ce faire, elle s'appuie sur un *système d'information* (SI) qui donne une image virtuelle de la réalité physique de l'entreprise. Tout système d'information doit, d'une part, fournir aux gestionnaires l'information nécessaire à leurs tâches, d'autre part, alimenter le système d'aide à la décision (SIAD) qui donne aux dirigeants une vue d'ensemble sur le fonctionnement de l'organisme, sa position par rapport aux objectifs, ainsi que sur les principaux risques.

La maîtrise du flux physique, but de la gestion de la production, ne pourra être effective qu'en maîtrisant le flux informationnel. La gestion de la production est donc une fonction de l'entreprise en perpétuelle *communication* avec toutes les autres fonctions. Cette communication

s'établit bien sûr au travers de relations directes entre les individus, mais aussi au moyen d'*informations* et de *documents* qui supportent les *données techniques*.

Les données nécessaires pour gérer la production sont de plusieurs types :

- Des données décrivant les produits et leurs composants, la manière de les fabriquer, les ressources humaines et matérielles internes à l'entreprise ou externes à l'entreprise (clients, fournisseurs). Ces données sont relativement stables et n'évoluent qu'à la création ou à la modification des produits, des processus ou des ressources.
- Des données nécessaires à l'accompagnement de l'activité de production, conduisant aux lancements de fabrication, aux commandes adressées aux fournisseurs... Ces données évoluent en permanence avec l'activité de l'entreprise.
- Des données résultant de l'activité passée. On peut ainsi contrôler et analyser cette activité et affiner les données stockées.

Toutes ces données techniques sont fondamentales, car elles renferment le savoir-faire et la mémoire de l'entreprise. Même une minuscule entreprise a toujours des données techniques qui, éventuellement, ne sont pas formalisées et qui figurent dans un petit carnet ou dans la tête du patron et du personnel !

En retraçant chronologiquement l'histoire d'un produit, nous rencontrons les fonctions suivantes :

- La fonction Marketing qui établit le cahier des charges des produits à développer en fonction des analyses prospectives.
- La fonction Études dont le but est la mise au point de produits nouveaux et l'amélioration des produits existants en vue de leur production par l'entreprise.
- La fonction Méthodes qui va permettre l'industrialisation et se trouve à la charnière entre la conception et la réalisation des produits.
- La fonction Production dont le but est de fabriquer et assembler les produits que l'entreprise vendra.

- La fonction Commerciale qui est chargée de vendre les produits, ce qui impliquera, outre la distribution des produits, des aspects de marketing et de prévisions des ventes.

Nous allons décrire succinctement les fonctions de l'entreprise qui créent des documents, supports de données techniques, en amont de la gestion de production. Il ne s'agira pas d'établir un panorama exhaustif, mais avant tout de présenter les données utiles pour la gestion de la production.

2. Fonctions et documents

2.1 Fonction Études et documents techniques

2.1.1 Généralités

Pour être performante, une entreprise doit innover sans cesse. Sous la pression des clients et de la concurrence, les produits ont une durée de vie (présence au catalogue) de plus en plus courte et il faut donc que l'entreprise se remette continuellement en cause. On estime qu'une entreprise qui veut assurer son avenir doit réaliser 40 % de son chiffre d'affaires avec des produits nouveaux. Cette fonction est généralement remplie par le bureau d'études et les services recherche et développement lorsqu'ils existent.

À cette fonction incombe le souci permanent d'étudier chaque produit ainsi que chacun de ses éléments dans une optique de fonctionnalité, de fiabilité et de maintenance aisée. Elle doit également y intégrer les innovations techniques, mais avec une idée de standardisation et de facilité de production propre à la philosophie de production au plus juste. La conception d'un produit – on le voit immédiatement – ne peut se faire dans l'isolement du bureau d'études sans collaboration avec les autres fonctions.

La collaboration s'instaurera tout d'abord avec le marketing, afin de répondre à l'attente de clients. Cette attente peut être explicite ou traduire un besoin non exprimé qu'il faudra mettre en évidence. Le passé récent regorge d'exemples de ce type : baladeur MP3, imagerie numérique, communications portables, nouveaux plats cuisinés...

Une collaboration avec les services techniques et la production est indispensable pour des techniques particulières (injection plastique, fonderie...) et dans tous les cas requise afin de concevoir rapidement des produits faciles à fabriquer. Aujourd'hui, le cycle d'étude et de mise au point des produits doit être de plus en plus court et seule une collaboration étroite avec les services méthodes et production dès la conception le permet. Hier, il fallait cinq ans pour étudier et mettre au point une nouvelle fixation de ski, aujourd'hui, il faut deux ans, demain un an suffira.

L'ensemble des informations relatives à la conception d'un produit et aux différentes évolutions qu'il subira tout au long de son utilisation doit être formalisé par des documents. Ces derniers peuvent prendre la forme papier, mais ils sont de plus en plus directement traités sous la forme numérique. Nous verrons, au chapitre 13, qu'ils sont judicieusement gérés par des outils informatiques spécifiques, les SGDT (Système de gestion des données techniques).

2.1.2 Documents en entrée

Le document type en entrée fourni par le marketing est le *cahier des charges*. Il explicite les fonctions et caractéristiques techniques du produit à concevoir. Il permet également de spécifier les conditions d'emploi et les quantités à réaliser, c'est-à-dire les particularités permettant d'effectuer les choix techniques.

2.1.3 Documents en sortie

Le *plan d'ensemble* ou dessin d'ensemble définit le produit dessiné tel qu'il se présentera devant le client avec une nomenclature des constituants de base du produit.

Le *plan de détail* ou dessin de définition explicite toutes les données nécessaires à l'exécution d'une pièce ou partie d'un ensemble. Il contient toutes les spécifications géométriques, d'état de surface, de traitements spéciaux... Il constitue une annexe au plan d'ensemble.

La *nomenclature* de bureau d'études donne chaque élément constituant le produit, identifié et décrit de façon sommaire. Nous verrons comment se situe la nomenclature de gestion de production par rapport à celle-ci.

Les *articles* constituant l'ensemble produit doivent être identifiés. Il peut s'agir d'articles déjà existants, donc possédant un code ou des articles nouveaux pour lesquels il faudra créer un code.

2.2 Fonction Méthodes et documents techniques

2.2.1 Généralités

La fonction Méthodes a pour finalité de permettre de passer d'un plan ou d'une idée à un produit et même le plus souvent à des milliers de produits. Il s'agit du stade de l'industrialisation du produit. Nous évoquons là la différence fondamentale entre artisanat et industrie. Dans le premier cas, deux produits ne sont jamais totalement identiques, ce qui fait la richesse du produit artisanal. En revanche, l'industriel doit être capable de reproduire facilement et d'une manière économique de nombreuses fois un produit. L'industrialisation doit expliciter la manière d'y procéder en limitant la dispersion entre deux produits. Outre ces objectifs techniques et économiques, la fonction Méthodes a des objectifs humains. En effet, la réalisation des processus et la conception des postes de travail, notamment leur ergonomie, pourront conduire à des postes pour opérateurs « pensants », sollicitant leur réflexion et pas seulement leurs muscles.

À court terme, la fonction Méthodes effectue la préparation technique du travail de production : définition et mise à jour des gammes, dessin et étude de pièces et outillages nécessaires, tenue des fichiers outillage, machines, coûts par poste... À moyen terme, son rôle comprend l'amélioration des procédés, la simplification des produits et de leur fabrication, l'amélioration des postes de travail et de leur implantation. À plus

long terme, afin de conserver ou d'obtenir une avance sur la concurrence, elle est amenée à définir les moyens nécessaires à la réalisation des nouveaux produits, à apporter des innovations dans les procédés existants, à analyser et chiffrer les investissements nécessaires.

2.2.2 Documents en entrée

Pour effectuer sa tâche, la fonction Méthodes utilise les documents produits par la fonction Études (plans, nomenclatures, articles), les données technologiques existantes, notamment en matière de moyens de production (personnel qualifié et machines), et les procédés connus.

2.2.3 Documents en sortie

La fonction Méthodes va élaborer les gammes. La *gamme* définit la succession des opérations à effectuer comme le fait une recette de cuisine. Il s'agit donc d'une suite ordonnée des différentes phases d'un processus. Une gamme peut être définie pour tout type de travail (fabrication, usinage, assemblage, contrôle et même manutention pour des pièces difficiles à déplacer ou à positionner).

Le management des connaissances de l'entreprise (KM = *Knowledge Management*) demande également au service Méthodes la génération de nombreux documents supports de production permettant de garantir la performance au travers des cinq critères : qualité, délais, coûts, sécurité, environnement, tels que :

- fiche de poste décrivant les opérations à réaliser ;
- instructions de poste décrivant la procédure d'utilisation d'un moyen ;
- gestion de la maintenance préventive ;
- gestion des données de sécurité.
- etc.

2.3 Fonction Gestion de production et documents techniques

La fonction Gestion de production, largement développée dans cet ouvrage, se trouve à l'interface de très nombreux processus de l'entreprise. Elle manipule de nombreuses informations et produit également plusieurs documents :

- Le *dossier de fabrication* accompagne les produits au cours de leur évolution dans l'atelier.
- Le *bon de travail* décrit le travail à réaliser sur un poste donné. Il reproduit le libellé et le mode opératoire de la phase considérée de la gamme. Il sert aux suivis technique (retour d'information) et administratif (comptabilité analytique).
- La *fiche suiveuse*, comme son nom l'indique, suit les pièces d'un lot en fabrication. Elle va récapituler l'historique de la réalisation des pièces et donner un compte rendu d'exécution des différentes phases.
- Le *bon de sortie de magasin* permet d'obtenir les matières et composants nécessaires à la production en indiquant les qualités et quantités à délivrer par le magasin.

3. Généralités sur les données techniques

La gestion de production doit gérer, d'une part, les produits, composants et matières premières et, d'autre part, les charges et capacités.

Dans l'introduction, nous avons groupé les données nécessaires à la gestion d'une production en trois familles que nous allons préciser :

- les *données de base* décrivant le système de production et les produits (fichiers articles, nomenclatures, postes de charges, gammes, outillages et fichiers fournisseurs, clients et sous-traitants) ;
- les *données d'activité* évoluant avec l'activité de l'entreprise (stocks et en-cours, commandes clients, lancement et suivi des ordres de fabrication...) ;

- les *données historiques* résultant de l'activité passée (coûts de revient, livraisons, historique des mouvements de stocks...).

Un point facile à comprendre mais fondamental est qu'il convient de s'assurer de l'*exactitude* des données techniques. En effet, c'est sur elles que va reposer toute la gestion de la production : des valeurs erronées ne peuvent conduire qu'à une planification ou programmation irréalistes et à s'exposer à des ennuis lors de l'exécution. Nous préciserons en fin de chapitre quel est le niveau requis pour une gestion de bon niveau.

Nous commencerons par présenter les *quatre fichiers de base* de la gestion de production : les fichiers Articles, Nomenclatures, Postes de charge et Gammes, puis nous aborderons les autres données.

4. Articles

4.1 Définitions

Un *article* est un produit de l'entreprise ou un élément entrant dans la composition d'un produit, que l'on veut *gérer*. C'est un terme général correspondant à un produit fini, un sous-ensemble, un composant ou une matière première.

Il y a création d'une « fiche » ou « enregistrement » article chaque fois que l'on veut gérer un tel élément : demande externe par les clients de produits ou de pièces de rechange, équilibre interne de la demande et de la production ou de l'approvisionnement, reliquats de production ou retours des clients, regroupements d'articles...

Il s'agit le plus souvent d'articles ayant une existence physique, mais on peut, également, créer des articles fictifs ou *fantômes*. Ceux-ci permettent, par exemple, de représenter des sous-ensembles en état transitoire non physiquement stockés mais incorporés immédiatement dans un produit, des sous-ensembles non stockés entrant dans la composition de plusieurs produits, des groupes de pièces utilisées ensemble comme des éléments d'un emballage...

Les données relatives aux articles constituent la base de tout le système de gestion de production et il convient de construire en premier le fichier « Articles ».

4.2 Données Articles

Un enregistrement Article comprend :

- Une *référence* ou *code* constituant une relation bi-univoque entre l'article et le code. Un seul code doit correspondre à un seul article, et réciproquement. Nous verrons ci-après comment choisir les codes.
- Une (ou plusieurs) *désignation(s)* donnant l'appellation en clair de l'article. Il y a intérêt à normaliser les désignations à l'intérieur de l'entreprise en choisissant structuration et vocabulaire utilisés. Dans le cas où plusieurs désignations sont utilisées, elles peuvent être exprimées en langues étrangères ou adaptées à certains clients.
- Des *données de classification* utilisées pour des tris (familles, sous-familles, catégories liées au stockage ou à la matière...).
- Des *données de description* physique (couleur, matière, masse, forme...), sous forme libre ou structurée. Peuvent notamment figurer des codes utilisés en technologie de groupe (par exemple, classification CETIM-PMG).
- Des *données de gestion* comme lots de lancement ou commande, article de remplacement, référence du gestionnaire, référence du ou des fournisseurs, stock minimal de déclenchement, délai d'obtention, lieu de stockage (magasin, emplacement)... C'est également ici que l'on trouve un éventuel *coefficient de perte* destiné à compenser la perte prévue pendant le cycle de fabrication de l'article, et qui s'applique à toutes les utilisations de l'article (différent du coefficient de rebut d'un lien de nomenclature, que nous verrons plus bas au paragraphe 6.5 « Données des nomenclatures »).
- Des *données économiques* indiquant des prix et coûts standards selon les besoins de l'entreprise.

Les données « Articles » sont nombreuses et, par exemple, dans le progiciel SAP R/3 il y a une dizaine d'écrans correspondant à des vues données de base, production, administration des ventes, achats, qualité, coûts... Pour illustration, la figure 6.1 donne deux de ces écrans.

Figure 6.1 – Exemple d'écrans des données « Articles » dans SAP R/3

Article: 052488		A322199 ROTOR HP EQUIPE 2020CP1 JAP	
Désignations			
Langue	Désignation article		
FR	A322199 ROTOR HP EQUIPE 2020CP1 JAP		
DE	ROTOR HP 2020CP1		
EN	HP ROTOR		
Entrée 1 par 3			
Donn. générales			
Unité de qté base	PCE	Pièce	Grpe marchand. FAB
Ancien n° article			
Secteur d'activité	01	Labo/Bur.études	
Schéma contingent.	Hiér. produits		0101060182011100
Stat.art.int.-divis.	Début validité		
	GrpeGénTypPoste		
Groupe d'autorisation articles			
Groupe autorisations			
Mesures/EAN			
Poids brut	26	Unité de poids	KG
Poids net	26		
Volume	0.000	Unité de volume	
Taille/dimension			
Code EAN/UPC	Type EAN		

Article:	052488	A322199 ROTOR HP EQUIPE 2028CP1 JAP
Division	1000	
Donn. générales		
Unité de qté base	PCE Pièce	Groupe de planif. REPA
Groupe d'acheteurs		Code ABC C
Statut art. par div.		Début de validité
Procédure de planif.		
Type planification	PD Planification déterministe	
Point de commande	0	Horizon planif. fixe 0
Cadence planificat.		Gestionnaire 040
Données taille lot		
Clé calc.taille lot	EX Calcul exact de la taille des lots	
Profil d'arrondi		Valeur arrondie 1
Taille lot minimale	0	Taille lot maximale 0
		Stock maximum 0
Rebut ss-ens. (%)	0.00	Temps de cycle 0
Stock division moyen		
Approvisionnement		
Type approvisionnement	E	Saisie de lot
Approvisionn. spécial		Magasin production EXP
Utilisation quotas	3	Aire appr. /défaut
Prélèvement rétroac.		Magasin appro.exter. EXP
Code appel livr. JAT		Grpe déterm. stocks EXP
<input type="checkbox"/> Co-produit		
<input type="checkbox"/> March. en vrac		
Ordonnancement		
Délai fabric.interne	30 Jrs	Délai prév. livrais. 0 Jrs
Temps de réception	0 Jrs	Calendrier planif.
Clé d'horizon	ALC	
Calcul besoins nets		
Stock de sécurité	0	Taux de service (%) 0.0
Profil de couverture		Délai de sécurité
Prof. pér. dél. séc.		Dét.séc./cov.réelle 0 Jrs
Stratégie de déploiement		
Règle fair share		Distribution poussée
Horizon d'offre	0	

5. Codification des articles

5.1 Besoin de codification

La codification des objets utilisés en gestion de production concerne tous les fichiers de données, mais le système de codification primordial est celui qui a trait aux articles. C'est donc la codification des articles que nous étudierons plus précisément.

La manipulation dans l'entreprise de milliers ou dizaines de milliers d'articles rend impossible leur identification par la seule désignation. La codification vise à passer du langage naturel, trop long et imprécis, à un langage symbolique, court et précis. Elle permet une rationalisation et une homogénéisation de l'information indispensables à son traitement informatique. Le code constitue la clé d'accès à l'enregistrement « Article ».

Les règles pour assigner le code article doivent être claires et comprises de toutes les personnes qui les manipulent. Par ailleurs, procéder à un changement du système de codification est une action lourde et coûteuse pour une entreprise (réétiquetages, transcodification...). Il est donc indispensable de penser et choisir un système adapté aux objectifs attendus et d'une durée de vie suffisante.

5.2 Qualités d'un système de codification

Un système de codification doit être :

- **Précis et discriminant.** Comme nous l'avons vu précédemment (§4.2, « Données Articles »), chaque article doit avoir un code et un seul. Il doit permettre de différencier facilement les diverses variantes d'un article (par exemple, deux pièces de même forme mais de couleurs différentes).
- **Souple,** c'est-à-dire permettre facilement l'introduction de nouveaux codes sans détruire la logique du système de codification (croissance du nombre d'articles au total ou dans une classe, croissance du nombre de classes). Cela assurera sa *pérennité*.

- **Stable** dans le temps (qualité reliée étroitement à la précédente) car un changement de système de codification est une opération lourde à effectuer pour l'entreprise.
- **Homogène**, c'est-à-dire comporter le même nombre de caractères (chiffres ou lettres), avoir même structure et composition afin de diminuer les risques d'erreur, notamment dus à des reports incomplets.
- **Simple** pour être facile à utiliser, donc pas trop long, découpé en champs homogènes, séparés ou non par des espaces, avec un mélange pas trop important de la nature des champs.

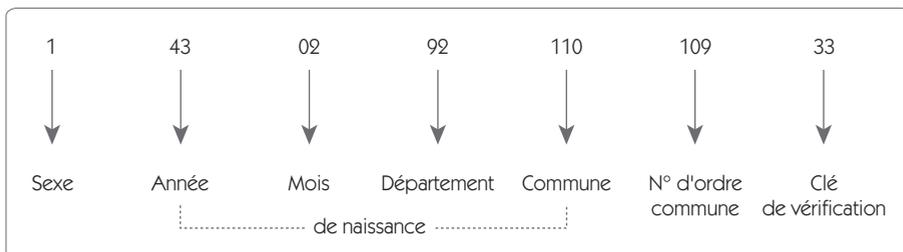
5.3 Quelques exemples connus de codification

Pour comprendre aisément la signification des caractéristiques d'une codification, nous allons considérer quelques exemples bien connus, même s'ils n'ont pas trait à des entreprises manufacturières.

5.3.1 Code Insee

Il comporte 15 chiffres groupés en 7 champs (figure 6.2).

Figure 6.2 – Code Insee



Chaque champ décrit avec précision une caractéristique et le code est homogène (toujours 13 chiffres + clé). Il présente des problèmes en termes de pérennité : par exemple, que faire si le nombre de départements devient supérieur à 99 ? Par ailleurs, en ce qui concerne la signification de ce champ, ici 92 correspond au département d'Oran, alors français, et non à la région parisienne restructurée. Ensuite, bien que très peu vraisemblable, la probabilité d'un même code pour deux indi-

vidus n'est pas rigoureusement nulle (deux personnes de même sexe nées à un siècle d'écart le même mois, dans la même commune et avec le même numéro d'ordre). Enfin, remarquons la longueur du code qui permettrait dans un autre système de représenter bien plus de personnes (par exemple, la codification du sexe sur un chiffre qui ne prend que les valeurs 1 ou 2 parmi les 10 possibilités).

5.3.2 Code des départements français

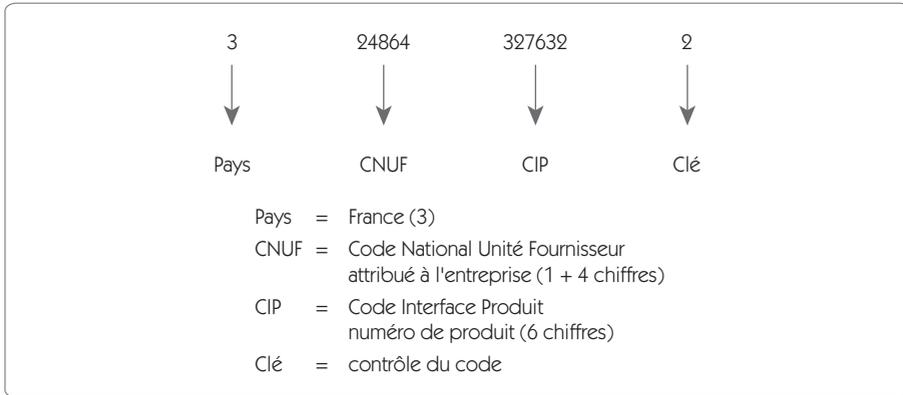
Il s'agit d'une codification séquentielle après classement alphabétique des noms (01 = Ain, 02 = Aisne...). Cette codification est peu souple et ne permet pas les changements de noms ou la création de nouveaux départements sans rompre la logique. C'est ce qui s'est passé lors de la restructuration de la région parisienne ou du partage de la Corse en deux départements.

5.3.3 Code des pays

C'est un exemple de code non homogène car le nombre de caractères varie de un à trois. En revanche, il est souple et évidemment significatif. Donnons quelques exemples : F = France, FJI = Fidji, FR = îles Féroé, FL = Liechtenstein.

5.3.4 Code EAN 13

C'est le code (figure 6.3) utilisé pour la grande majorité des produits de consommation et que l'on retrouve sur les codes barres.

Figure 6.3 – Code EAN 13

Ce code homogène est en grande partie séquentiel, avec une structuration significative. Il est très souple. Il est d'ailleurs dérivé du code UPC américain comportant douze chiffres et auquel on a ajouté un treizième chiffre en tête pour représenter les pays européens. Sachant que le premier chiffre du CNUF est lui-même une partie du code pays, il y a 99 possibilités de pays. Les États-Unis et d'autres pays comme la France ont chacun dix valeurs réservées. On pourra étendre cette codification au niveau mondial en ajoutant encore un chiffre.

5.4 Différents types de systèmes de codification

Les exemples du paragraphe précédent peuvent être classés en trois catégories :

- codification significative ou analytique ;
- codification non significative ;
- codification mixte.

5.4.1 Codification significative ou analytique

Dans une codification de ce type, chaque champ a pour but de décrire une caractéristique de l'objet (matière première, sous-ensemble..., article acheté ou fabriqué, catégorie ou classe selon divers critères, caractéristiques physiques comme longueur, diamètre, couleur...).

Finalement, le code décrit l'article selon les critères choisis. La structuration du code est établie soit par juxtaposition, dans un ordre prédéfini, de champs indépendants, soit au moyen d'un ensemble hiérarchique arborescent (par exemple, pour un poste de charge : section, sous-section, machine).

Avantages : codes faciles à retenir (au début),
possibilité de classification.

Inconvénients : codes peu flexibles donc difficilement évolutifs,
pérennité difficile à assurer,
codes souvent longs,
gaspillage de stockage informatique.

5.4.2 Codification non significative

Dans ce type de codification le code est en général numérique, homogène et sans signification. Il peut être attribué d'une manière aléatoire en fonction d'une liste préétablie sans corrélation entre les éléments. Il peut également être attribué d'une manière séquentielle, les objets étant enregistrés les uns derrière les autres. Il y a alors corrélation entre le code et l'ordre de création.

Avantages : création rapide du code,
code court,
utilisation maximale du système,
pérennité.

Inconvénients : risque de double utilisation d'un code,
pas de possibilité de regroupement ou classement,
difficile à retenir.

5.4.3 Codification mixte

Les codes comprennent une partie non significative et une partie composée d'un ou plusieurs champs significatifs. C'est en général le type de codification choisi par les entreprises pour l'identification des articles. Il faut être vigilant lors du choix de la partie significative afin de ne pas entraver une évolution future non prévue au départ.

Exemple de code mixte dans une entreprise avec plusieurs divisions :

F091245.01

F = division (significatif)

091245 = séquentiel

01 = version (séquentiel, mais chronologie utile)

5.5 Prévention et détection des erreurs

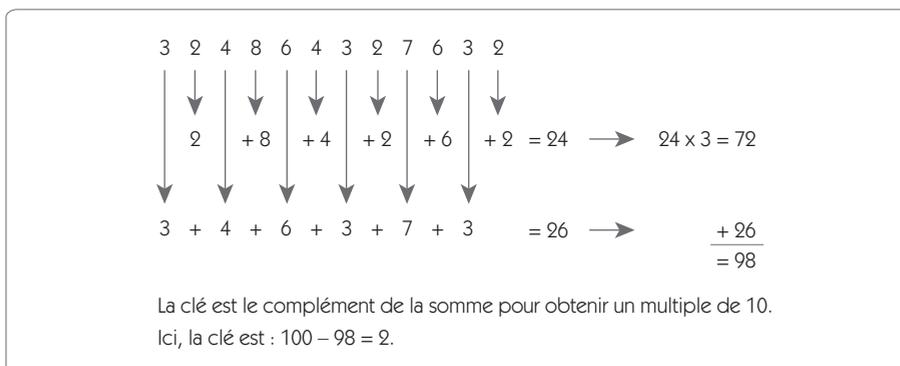
Les erreurs sont difficiles à éviter totalement au moment des opérations de codification, de saisie ou de communication des codes, que ce soit par intervention humaine ou même par saisie automatique (lecture optique d'un code à barres). Ces erreurs peuvent avoir des conséquences lourdes et il faut mettre en place des systèmes de prévention et de détection afin de les réduire autant que faire se peut.

En la matière, la *prévention* consiste à éviter la confusion dans l'acquisition et la transmission des codes. Quelques règles simples améliorent les choses : champs courts ou segmentés (461 845), éviter par exemple les lettres O, Q, i, I, faciles à confondre respectivement avec 0, 1, éviter les consonances voisines lors de transmissions orales (B et P, D et T), se méfier des zéros à ne pas oublier (023 045 = zéro vingt-trois, zéro quarante-cinq)...

Si malgré les précautions précédentes des erreurs se produisent, leur *détection* est capitale. On y pourvoit déjà d'une manière élémentaire en affichant par exemple sur l'écran informatique la désignation en clair. Par ailleurs, les programmes informatiques doivent posséder des tests de vraisemblance au moment de la saisie (par exemple, la tentative de création d'un lien de nomenclature avec des articles non définis doit être rejetée). Le moyen le plus efficace est de juxtaposer au code que l'on souhaite attribuer une clé de contrôle qui sera intégrée à son extrémité. On applique aux caractères (si certains sont des lettres on leur substitue des valeurs numériques adéquates) du code un ensemble d'opérations (+, -, ×, :) et on calcule le reste de la division par un nombre, c'est ce reste qui sert de clé de contrôle. On peut par exemple simplement diviser la somme des caractères du code initial par un nombre, le reste de la division donnant la clé (un chiffre pour une division par 10, une lettre pour une division par un nombre inférieur à

26...). On peut également utiliser une méthode un peu plus élaborée qui permette de déceler des permutations sur deux positions voisines : cas de la clé du code EAN 13 (figure 6.4).

Figure 6.4 – Calcul de la clé du code EAN 13



5.6 Code Article et documentation

À chaque article est attachée une documentation : dessins techniques, gammes, nomenclatures, études de postes... La création et la maintenance de cette documentation liée au produit sont d'une extrême importance car elles contiennent souvent le savoir-faire de l'entreprise. La référence de l'article est l'élément permettant de gérer cette documentation. Afin de bien pouvoir jouer ce rôle, il faut en particulier que le code puisse refléter les évolutions successives de l'article. Dans ce but, on introduit en fin de code un ou plusieurs caractères indiquant la version de ce dernier.

La gestion des différentes versions doit être tenue de façon rigoureuse, notamment par l'intermédiaire d'un document faisant office d'historique des évolutions (numéro de révision, autorité ayant pris la décision, description de la révision, date de la révision).

5.7 Règles d'interchangeabilité des articles

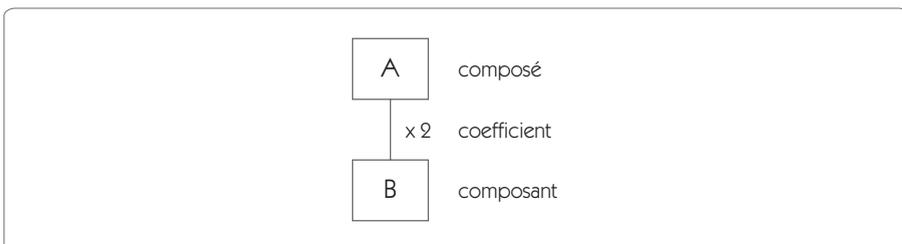
Il est important de définir les règles permettant de savoir si deux articles différents mais qui remplissent les mêmes fonctions au même coût doivent porter des références différentes ou la même. C'est un choix qui appartient à l'entreprise. Généralement, on applique la règle suivante : lorsque deux articles composants sont parfaitement interchangeables dans l'insertion de l'article-parent, sans différence de coût et de qualité, on adopte la même référence. C'est le cas notamment d'articles standards comme les joints ou les boulons achetés chez des fournisseurs différents.

6. Nomenclatures

6.1 Définitions

Une *nomenclature* est une liste hiérarchisée et quantifiée des articles entrant dans la composition d'un article-parent. L'article-parent est le *composé*, les autres étant les *composants*. On appelle *lien* de nomenclature, l'ensemble composé-composant (figure 6.5). Chaque lien est caractérisé par un *coefficient* indiquant la quantité de composant dans le composé. Ce coefficient peut être entier ou non (0,12 m ou 2,430 kg). Une nomenclature est ainsi un ensemble de liens.

Figure 6.5 – Lien de nomenclature



Considérons la valise de la figure 6.6. Sa représentation par une *nomenclature arborescente* est illustrée par la figure 6.7.

Figure 6.6 – Vue éclatée d'une valise

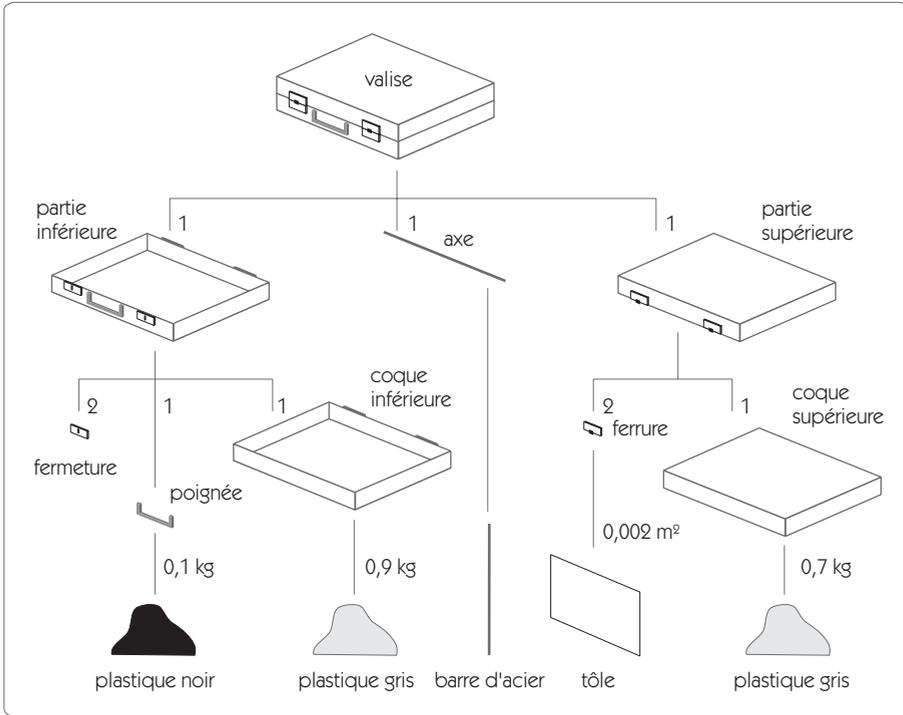
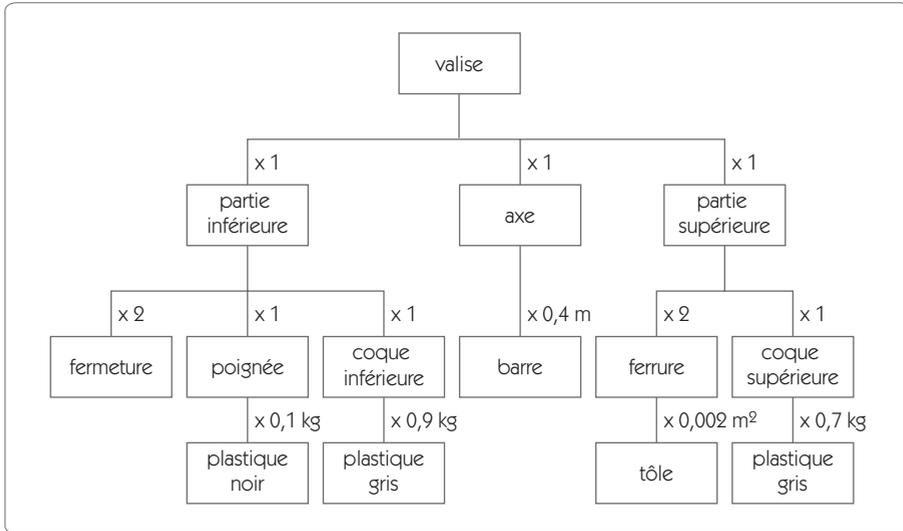


Figure 6.7 – Nomenclature arborescente de la valise

Une nomenclature comprend plusieurs niveaux. Par convention, on attribue aux produits finis le *niveau 0*. À chaque décomposition, on passe du niveau n au *niveau $n + 1$* . Le tableau présenté en figure 6.8 explicite les niveaux de la valise considérée.

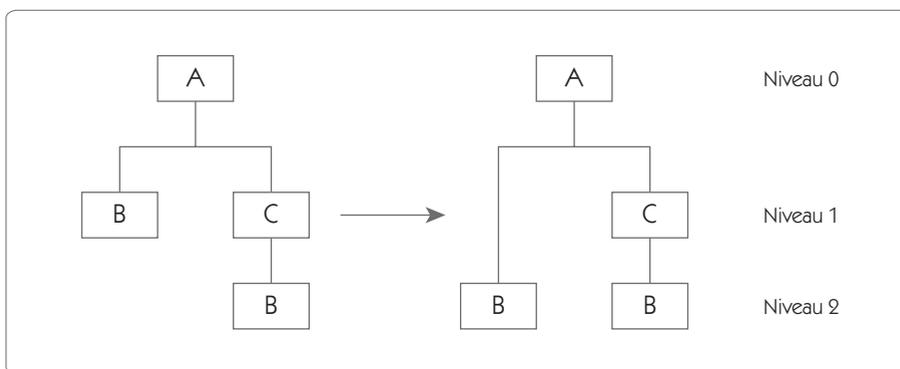
Figure 6.8 – Niveaux de la nomenclature de la valise

niveau 0	valise
niveau 1	partie inférieure, axe, partie supérieure
niveau 2	fermeture, poignée, coque inférieure, barre, ferrure, coque supérieure
niveau 3	plastique noir, plastique gris, tôle

Toutefois, la *règle du plus bas niveau* place un article donné au plus bas niveau où il intervient. La figure 6.9 illustre cette règle avec une nomenclature simple : l'article B est considéré au niveau 2. Citons le double avantage de cette règle que nous comprendrons plus complètement en étudiant le calcul des besoins d'un article (chapitre 7). D'une part, le calcul n'est effectué qu'une seule fois, même si l'article apparaît plusieurs fois dans une nomenclature ou dans diverses nomencla-

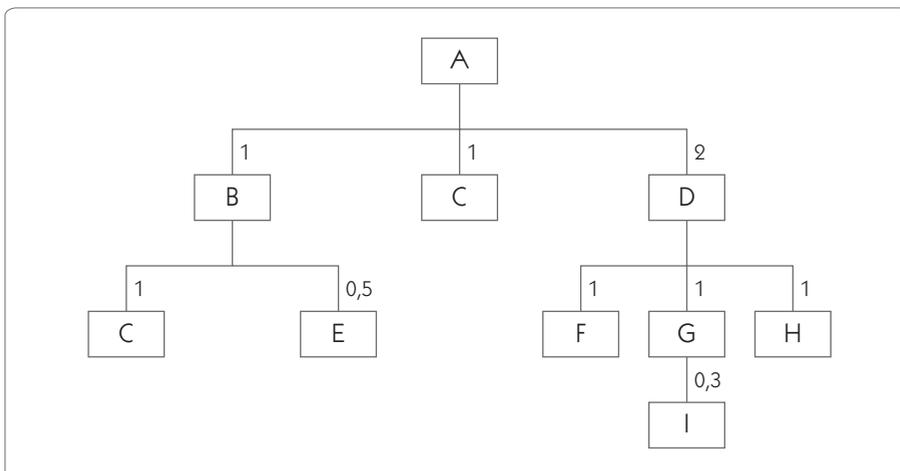
tures. D'autre part, elle permet d'allouer le stock disponible pour cet article au plus tôt dans le temps et non pas au niveau le plus haut de la nomenclature. En effet, le calcul des besoins est réalisé niveau par niveau et il est indispensable de rassembler tous les besoins d'un article à un même niveau.

Figure 6.9 – Application de la règle du plus bas niveau

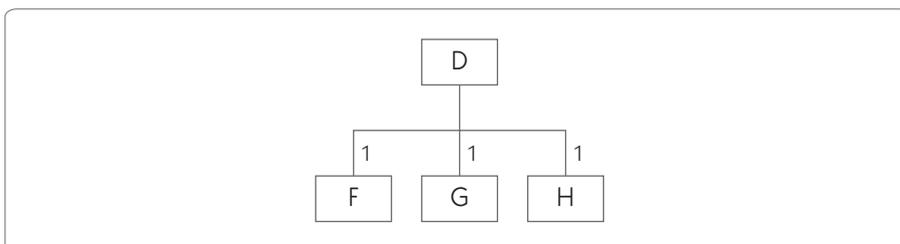


Le *nombre de niveaux* de nomenclature varie en fonction de la complexité des produits de l'entreprise. Une trop grande finesse de décomposition alourdit la gestion, alors qu'une décomposition trop succincte en limite les possibilités. Il faut surtout veiller à ne pas commettre l'erreur de créer des niveaux correspondant en fait à de simples étapes du processus, c'est-à-dire de confondre nomenclature et gammes, sauf s'il y a besoin de gérer un article intermédiaire. Pour la plupart des produits manufacturés, le nombre de niveaux est de *trois à cinq*. Les produits les plus complexes peuvent justifier de six à huit niveaux. Un nombre de niveaux supérieur à huit ou neuf correspond au risque confusion qui, comme indiqué plus haut, survient notamment dans le cas d'assemblages importants.

Dans une *nomenclature multiniveaux*, tous les composants issus d'un composé sont représentés (figure 6.10).

Figure 6.10 – Nomenclature multiniveaux de A

Une *nomenclature à un niveau* d'un composé de niveau n ne donne, au contraire, que les composants du niveau $n + 1$ (figure 6.11).

Figure 6.11 – Nomenclature à un niveau de D

Le *cas d'emploi*, comme son nom l'indique, explicite dans quel(s) composé(s) un article intervient. Il peut être multiniveaux ou à un niveau (figure 6.12).

Figure 6.12 – Cas d'emploi de H

Cas d'emploi multiniveaux de H	Cas d'emploi à un niveau de H
H	H
.1..D	..1..D
....2..A	

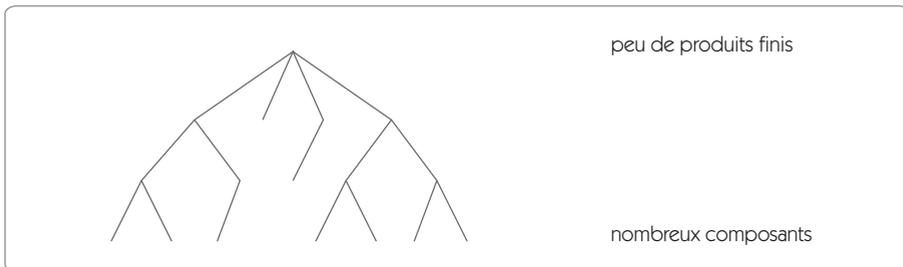
6.2 Structure des produits et nomenclatures

Selon les nombres comparés de produits finis et de leurs composants, ce qui dépend naturellement des secteurs d'activité concernés, les nomenclatures peuvent se présenter sous quatre formes :

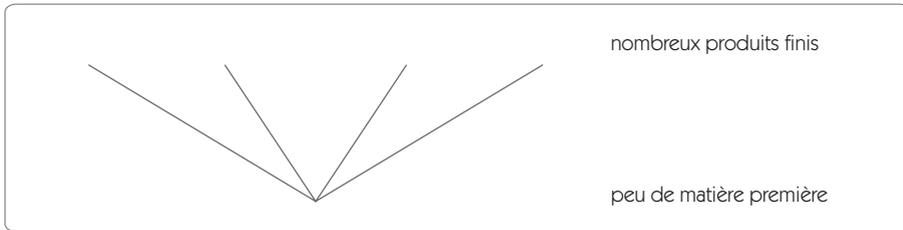
- structure convergente ;
- structure divergente ;
- structure à point de regroupement ;
- structure parallèle.

Des produits standardisés, avec une faible diversité des produits finis, mais de nombreux composants, ont une *structure convergente* (figure 6.13). Le nombre de niveaux de nomenclature est fonction de la complexité du produit fini. Ce type de structure se retrouve dans la fabrication de circuits électroniques ou d'ensembles de mécanique générale.

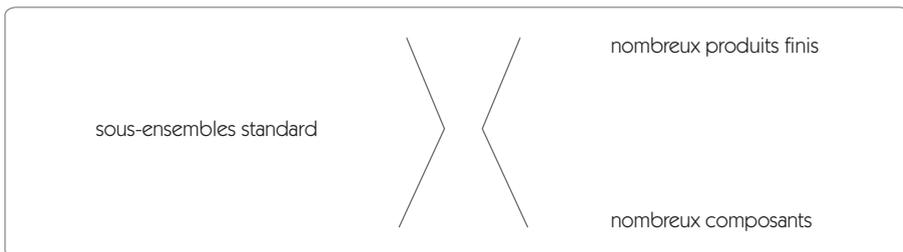
Figure 6.13 – Structure convergente



Dans certains cas, un nombre réduit de matières premières ou même une seule conduit à une grande variété de produits finis. Nous avons alors une *structure divergente* (figure 6.14). C'est le cas notamment dans l'industrie laitière ou l'industrie pétrolière.

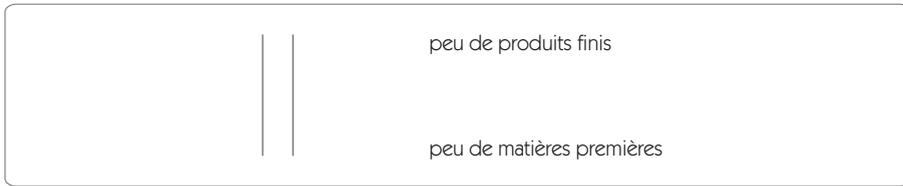
Figure 6.14 – Structure divergente

Certaines entreprises incorporent des sous-ensembles standard pour constituer de nombreux produits finis. Ces sous-ensembles comportent souvent eux-mêmes un grand nombre de composants de base. Nous observons alors une *structure à point de regroupement* (figure 6.15). Le plus souvent, les gestions des deux parties seront différentes : gestion sur stock à partir de prévisions de la demande pour la partie conduisant aux sous-ensembles et assemblage à la commande des produits finis. C'est le cas typique de l'industrie automobile où les options de motorisation, de freinage, de direction... sont installées à la demande.

Figure 6.15 – Structure à point de regroupement

Quand une entreprise a peu de produits et peu de matières premières ou composants, il s'agit de *structures parallèles* (figure 6.16). Nous citerons l'exemple de l'industrie d'emballage.

Figure 6.16 – Structure parallèle



6.3 Différentes nomenclatures

La *nomenclature fonctionnelle* reflète une approche de bureau d'études qui utilise les fonctions élémentaires correspondant au cahier des charges fonctionnel pour avancer les solutions techniques propres à les satisfaire.

La *nomenclature de fabrication* ou *d'assemblage* décrit les états d'avancement de la production de l'article concerné (pièces et sous-ensembles aboutissant au produit fini).

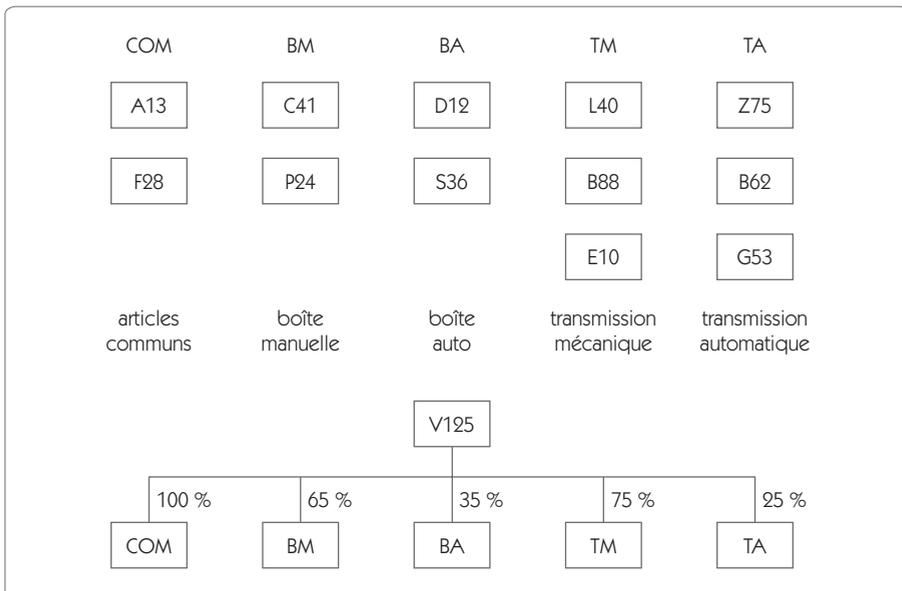
La *nomenclature de gestion de production* découle de la précédente ; elle regroupe les articles gérés (fichier Articles). Cette nomenclature « normale » est représentée sur les figures 6.10 ou 6.18.

La gestion de production utilise également des *nomenclatures de planification* :

- Les *macro-nomenclatures* sont situées au sommet de la structure (produits ou familles de produits), et destinées à planifier les besoins à moyen et long termes. Non détaillées, elles sont constituées de composants agrégés (regroupement d'articles) et, éventuellement, de composants critiques à surveiller (composants stratégiques à long délai).
- Les *nomenclatures modulaires* rendent de grands services dans le cas de produits avec de nombreuses variantes. Considérons l'exemple simplifié de la figure 6.17 où un véhicule est disponible avec plusieurs choix (d'une part, boîte manuelle ou automatique, d'autre part, transmission mécanique ou automatique) et comporte, en outre, des éléments communs à toutes les versions. Il est alors possible de grouper des ensembles d'articles en modules : module des articles communs à toutes les variantes,

module des articles spécifiques à la variante « boîte manuelle », module de la variante « boîte automatique »... Après modularisation, on constitue une macro-nomenclature dont les coefficients sont exprimés en pourcentages des prévisions de ventes de chaque option. À partir de la prévision du produit fictif V125, il est alors facile de calculer les besoins des articles composant chacun des modules. Disons tout de même que la modularisation complète n'est en général pas aussi simple que le montre cet exemple et qu'il faut procéder sur plusieurs niveaux de nomenclature...

Figure 6.17 – Modularisation et macro-nomenclature
(d'après J. Orlicky)



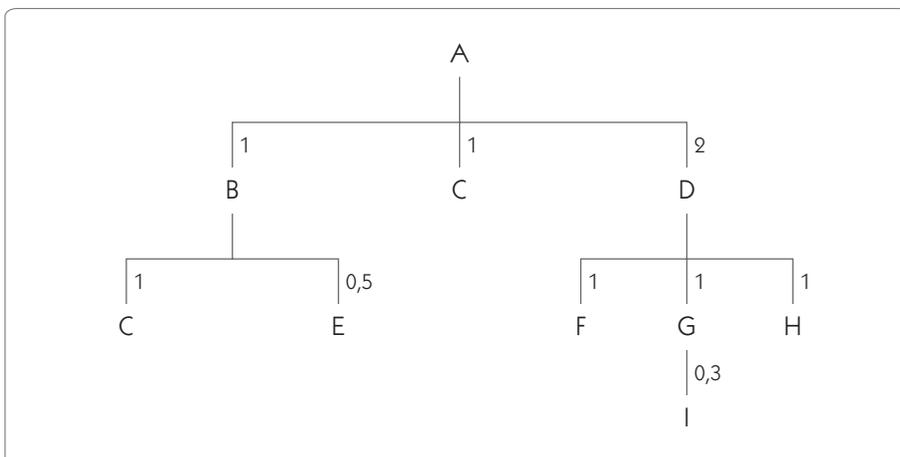
Nous venons de montrer que le même produit est vu dans l'entreprise de différentes manières selon le service concerné. Cette multiplicité de nomenclatures est une entrave à l'objectif d'intégration. Il se pose par exemple une difficulté de mise à jour suite à modification. La *standardisation* des diverses nomenclatures, à l'usage du bureau d'études, de celui des méthodes et du système de gestion de production est donc un but à atteindre malgré les frictions possibles entre services. Il en va de la fiabilité des données techniques.

6.4 Représentation des nomenclatures

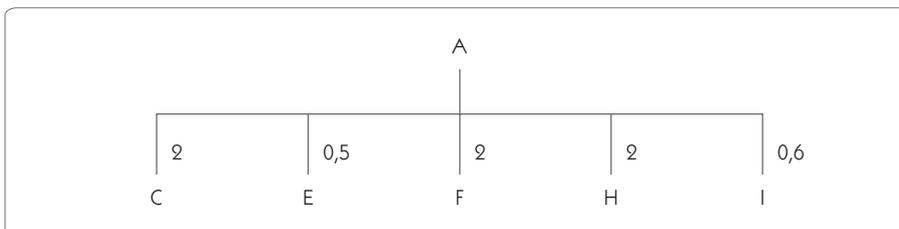
Une nomenclature peut être représentée de bien des façons. La plus simple consiste à établir une liste des composants. La *vue éclatée* issue d'un bureau d'études, complétée le plus souvent par la liste des composants correspondant à un repère sur le dessin, représente un type de nomenclature.

La *nomenclature arborescente* (figure 6.18), de compréhension simple et visuelle, est celle qui est la plus utilisée en gestion de production.

Figure 6.18 – Nomenclature arborescente de gestion de production



Une *nomenclature cumulée* correspond à la liste de tous les composants des plus bas niveaux (composants achetés). La figure 6.19 décrit le cas de l'article A. Par exemple, le composant I intervient avec le coefficient 0,3 dans G qui, lui-même, entre dans D avec le coefficient 1. A contient 2 D. Finalement, il y a $0,3 \times 1 \times 2 = 0,6$ I dans A.

Figure 6.19 – Nomenclature cumulée de A

Une *nomenclature indentée* est facile à produire sur un listing d'ordinateur. La figure 6.20 illustre cette représentation dans le cas de la valise de la figure 6.10.

Figure 6.20 – Nomenclature indentée

La *représentation matricielle* consiste en un tableau à deux entrées avec des lignes de composés et des colonnes de composants, ou l'inverse. Le coefficient de lien figure à l'intersection des lignes et des colonnes (figure 6.21). Elle permet une visualisation simple des différences entre plusieurs produits d'une même famille. Cela correspond à la représentation des options d'une voiture sur les catalogues commerciaux des constructeurs automobiles. L'exemple cité est une *nomenclature valorisée* puisque la valeur des composants y figure.

Figure 6.21 – Représentation matricielle d'une nomenclature

Composants			Composés			
code	unité	coût standard	111	112	121	987
122	un	162,50			1	
222	un	189,00	1	1		
246	un	121,75				1
444	kg	5,00	0,250			
511	m	3,12	1,80	1,80	0,95	0,95
888	un	19,83	2	3	2	
923	un	18,83			1	1
924	un	13,00				2
987	un	1,75	2	2	1	1

6.5 Données des nomenclatures

Les données d'un enregistrement de lien de nomenclature comportent :

- la *référence* de l'article *composé* qui sert de clé d'accès à l'enregistrement ;
- la *référence* de l'article *composant* ;
- le *coefficient* de lien ;
- sa *validité*, définie par les dates de début et de fin d'utilisation de ce lien ;
- d'autres *données de gestion* comme la date de création du lien, le type de nomenclature (fonctionnelle, fabrication...) ;
- le *coefficient de rebut* (pourcentage permettant d'augmenter le besoin brut pour prendre en considération les pertes en production du composé concerné et ne s'appliquant pas à toute utilisation du composant comme le coefficient de perte vu au § 4.2, « Données Articles »).

La figure 6.22 illustre ces données dans le progiciel SAP R/3 (voir notamment : niveau, code, désignation, quantité de lien, unité de gestion).

Figure 6.22 – Nomenclature dans SAP R/3

Article		052408		1000		Alte		Utili 1	
Qté néces.		1.000 PCE		Qté de bas				Déb.v 26.11.1985	
Niveau	Pos.	N°	composante		Quant	UQ	Ty.		Exc
		Désignation							
.1	0001	052409	P0		1.000	PCE	L		
		A322200	ROTOR HP CHROME 2020CP1 JAP						
..2	0001	052412			1.000	PCE	L		
		A448137	EB. ROTOR HP 2020AC/CP1						
...3	0001	052531	F		1.000	PCE	L		
		A433452	TOURILLON PPM						
...3	0002	052532	F		1.000	PCE	L		
		A433453	TOURILLON C PPM						
...3	0003	052961	B		2.000	PCE	L		
		A447058	MASSE ROTOR HP 2020A						
.1	0002	054071	B		1.000	PCE	L		
		A435649	AXE (GOUPILLE L6C) 36						
.1	0003	053482	A		1.000	PCE	L		
		A428836	AXE 36						

7. Postes de charge

7.1 Définitions

Un *poste de charge* est une unité opérationnelle de base que l'entreprise a décidé de gérer. Précisons tout de suite qu'il ne faut pas le confondre avec le poste de travail. Ce dernier est une unité physique qui entrera dans un poste de charge, alors que le poste de charge est une entité qui résulte d'un choix d'organisation. En général, le poste de charge résultera de la *combinaison de plusieurs postes de travail* associés pour réaliser une action de production déterminée. Ainsi, selon le cas, le poste de charge peut être une machine, ou un groupe de machines, un ou plusieurs opérateurs, une association machine(s)-opérateur(s), un atelier...

7.2 Données des postes de charge

Les données d'un enregistrement poste de charge contiennent :

- la *référence* du poste de charge ;
- la *désignation* du poste de charge, c'est-à-dire son appellation ;
- l'indication de la *nature* du poste (machine, main-d'œuvre ou mixte) ;
- la *capacité* du poste de charge ;
- le *poste de remplacement* qui permet de réorienter la production vers ce poste en cas de surcharge ou d'indisponibilité ;
- les données pour le calcul des *coûts*.

La référence du poste de charge est normalement un code structuré ou un ensemble de codes définissant la section, la sous-section et le poste, ou la machine.

La capacité du poste de charge est fonction du nombre d'opérateurs, du nombre de machines, du temps d'ouverture du poste et de son *coefficient d'efficacité*. Le temps d'ouverture du poste correspond à son ouverture théorique corrigée par le calendrier standard de l'usine ou le calendrier spécifique au poste. On trouve par exemple un calendrier annuel de l'usine, un calendrier hebdomadaire et un calendrier particulier du poste. La *capacité démontrée* ou réelle du poste est obtenue en multipliant la *capacité théorique* ou calculée par le *coefficient d'efficacité*. Toutes les données nécessaires à ces calculs doivent figurer dans les champs de l'enregistrement.

Pour le calcul des coûts, le taux horaire affecté au poste de charge ou un coût forfaitaire permettront la valorisation des temps calculés à partir des gammes (voir ci-après §8, « Gammes ») ou des temps observés. On pourra trouver des taux machine, taux main-d'œuvre, taux pour le réglage, coûts forfaitaires des opérations en processus continu... avec l'unité de référence (heure, lot...).

Le fichier des *postes de charge* sera utilisé pour déterminer les *capacités* disponibles et les *coûts* de revient.

La figure 6.23 donne l'exemple d'un poste de charge selon SAP R/3 (les onglets donnent accès à plusieurs écrans ; ici, on voit les données relatives à la capacité et aux temps inter-opérateurs).

Figure 6.23 – Deux écrans des données « Postes de charge » dans SAP R/3

Division	1000	
Poste de travail	49900	MACHINE A SOUDER ROTOR
<div style="display: flex; justify-content: space-around; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> Données de base Val. par défaut Capacités Ordonnancement Centres coûts </div>		
Type de capacité	001	Machine
Capacité du pool		Capacité 14H00 Machine
Form. charge 'prépa'		
Form. charge 'Trait.'		
Charge démontage		
Charge rés.mainten.		
Répartition		
Répart. fabr. int.		

Division	1000	
Poste de travail	49900	MACHINE A SOUDER ROTOR
<div style="display: flex; justify-content: space-around; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> Données de base Val. par défaut Capacités Ordonnancement Centres coûts </div>		
Base du calcul d'ordonnancement		
Type de capacité	001	Machine
Capacité		Capacité 14H00 Machine
Formules de calcul du temps d'exécution		
Temps de changement	SAP001	Prod.: Tps préparat.
Temps de traitement	SAP002	Prod.: Tps machine
Temps de démontage		
Durée traitement		
Temps inter-opérateurs		
Groupe de postes		
Tps d'attente normal	20.000 H	Tps attente minimal 0.000

7.3 Outillages

Dans un système de gestion de la production, les outillages spécifiques, les outillages consommables, à durée de vie limitée ou nécessitant une maintenance, doivent être gérés de façon à assurer leur disponibilité lors de la planification, puis de l'exécution.

Le problème est analogue à celui des articles : délai de mise à disposition correspondant soit à un délai de livraison d'un article acheté, soit au temps de préparation de l'outil comme un article fabriqué. Les données outillages seront donc de même type que celles des articles (voir « Données Articles », §4.2).

8. Gammes

8.1 Définitions

L'industrialisation d'un produit consiste à choisir le processus et la suite optimale des opérations permettant d'aboutir au produit fini concerné. Toutes ces opérations sont répertoriées et précisées sur un document comportant des données théoriques ou réelles, décrivant les caractéristiques techniques utiles à la réalisation d'un article, c'est-à-dire la manière de réaliser ces opérations, le matériel à utiliser, les temps d'intervention, les tailles de lot... Ce document est communément appelé gamme et édité par le service des Méthodes. Selon le secteur d'activité, ce document prend d'autres noms : process (électronique), recette (agro-alimentaire), formule (chimie)...

La *gamme* est donc l'énumération de la succession des actions et autres événements nécessaires à la réalisation de l'article concerné.

Si l'article est obtenu par transformation de la matière, il s'agit d'une *gamme d'usinage*. Il existe de même des *gammes d'assemblage*, des *gammes de contrôle*, *gamme de transfert*... Une *gamme de gestion de production* est destinée à calculer la charge sur les postes de charge et

les délais d'obtention des articles. Elle est donc beaucoup moins détaillée puisque seuls sont alors indispensables l'ordre des opérations, le poste de charge concerné et les temps d'utilisation du poste.

L'utilisation de la technologie de groupe ou simplement l'existence de gammes ressemblantes conduit à déterminer des *gammes types* (gammes mères) qui permettent de créer par recopie avec quelques modifications et ajouts des gammes filles.

Dans la planification à long et à moyen termes, on est amené à étudier les charges globales (PIC et PDP, voir chapitre 7). Cette planification globale des capacités utilise des macro-gammes. Correspondant à des produits finis ou des familles de produits, ces dernières ne comprennent pas les opérations élémentaires, mais décrivent globalement les temps de passage dans certains groupes de postes de charges ou certains postes critiques (goulets d'étranglement identifiés). On peut ainsi estimer les charges globales à comparer aux capacités, afin de valider les premières étapes de la planification, sans mettre en œuvre un traitement lourd et inapproprié à ce stade.

8.2 Données des gammes

Les données d'un enregistrement Gamme comprennent les données de l'en-tête et celles du corps de la gamme.

L'en-tête comporte :

- La *référence* de la gamme. Le plus souvent, il s'agit de la référence de l'article correspondant. Lorsque plusieurs articles ont des gammes communes, on est amené à définir des références spécifiques de gammes et à rattacher la gamme adéquate à chaque article.
- La *désignation* de la gamme en clair.
- La *description* sous forme de commentaire ou de renvoi vers un dossier technique.
- Les *conditions d'emploi* (tailles maximales et minimales de lot, possibilité de fractionnement de lot).
- Les *outillages* nécessaires.

- La référence de la *gamme de remplacement* ou gamme secondaire éventuelle qui se substitue à la gamme principale.
- Les *dates* de création, mise à jour, validité...

Le corps de la gamme est constitué de la liste ordonnée des opérations et *chaque opération* sera décrite par :

- un *numéro d'ordre* (par exemple, 10, 20, 30..., permettant d'insérer de nouvelles étapes) ;
- les *conditions de jalonnement* (opérations parallèles, consécutives, chevauchement... avec délai de jalonnement) ;
- la référence du *poste de charge* concerné ;
- les *temps* (on devrait dire durée) dans une unité de temps définie.

Les temps définis dans les gammes sont :

- le *temps de réglage* ou de préparation ;
- le *temps unitaire d'exécution* (main-d'œuvre ou machine) qui, multiplié par le nombre d'articles, donnera le temps total d'exécution ;
- les *temps technologiques* comme un refroidissement ou un séchage ;
- le *temps de transfert* vers le poste suivant ;
- le *temps d'attente* devant le poste.

Le temps d'exécution peut être constant ou dégressif en fonction des quantités produites (phénomène d'apprentissage).

Le fichier Gammes contribue donc à :

- calculer la *charge* sur un horizon donné pour chaque poste de charge ;
- valider la planification ;
- ordonnancer à capacité finie ;
- calculer les coûts prévisionnels ;
- établir le dossier de fabrication ;
- comparer le réalisé (suivi de production) avec le prévu.

La figure 6.24 donne l'exemple d'une gamme et d'une opération dans SAP R/3.

Figure 6.24 – Exemple d'écrans des données « Gammes » dans SAP R/3

Article 052408 A322199 ROTOR HP EQUIPE 2020CP1 JAP CptrGrpGa1								
Séquence 0								
Liste opérations								
Opé.	S-op	Groupe ...	Pos.trav	Clé...D.	Désignation opération	Temps de pr	Temps machi	Temps main-
0001			MAG	PD01		0.000	0.000	0.000
0100		650002R	49900	PD01	SOUDURE ROTOR	1.000	0.060	0.000
0200		650002R	ST	PPSR	RECTIFICATION EXTERIEURE	0.000	0.000	0.000
0300		650002R	ST	PPSR	CHROMAGE	0.000	0.000	0.000
0400		650002R	M48	PD01	NETTOYAGE DEGRAISSAGE	0.000	0.000	0.023
9000			MAG	PP01		0.000	0.000	0.000

Article 052408 A322199 ROTOR HP EQUIPE 2020CP1 JAP CptrGrpGa1							
Opération							
Opération	0100		Sous-opération				
Pos. trav.	/	Divis	49900 / 1000		MACHINE A SOUDER ROTOR		
Clé de commande	PD01		Planif. ressources PD 'traitement interne'				
Clé de référence	SOR0		SOUDURE ROTOR				
<input type="checkbox"/> Texte descriptif							
Valeurs standard							
Conversion des unités de quantité							
Quantité de base	1		En-L.	U.	Opérat.	U.Q.	
UQ de l'opération	PCE		1	PCE	<=>	1	PCE
Temps d'arrêt	0.000						
Valeur std U. Type activ. Tx rendem.							
Temps de préparation	1.000	H	149MA				
Temps machine	0.060	H	149MA				
Temps main-d'oeuvre	0.000	H					
Processus de gestion							

9. Autres données techniques

9.1 Données relatives à l'environnement

L'environnement de l'entreprise comprend trois types de partenaires :

- les clients ;
- les fournisseurs ;
- les sous-traitants.

Les données de base s'y rapportant sont gérées par la fonction Commerciale dans le premier cas et par la fonction Achat pour les deux autres.

Les enregistrements comportent dans tous les cas une référence permettant d'y accéder et de mettre en relation les fichiers du système d'information de l'entreprise, l'identification du partenaire, des données de description et de classification. Ces dernières concernent la gestion de production pour l'évaluation qualitative ou quantitative des partenaires (respect des délais, de la qualité par les fournisseurs et sous-traitants, exigences des clients dans ces domaines).

9.2 Données d'activité

Les données d'activité sont à l'origine des informations qui génèrent et pilotent cette activité. Dans le cas de la gestion de production, il s'agit tout d'abord des données créant l'activité, puis des données de lancement et de suivi de cette activité.

Les premières ont pour origine les commandes clients ou les prévisions de commandes qu'il faut confronter aux ressources de l'entreprise (capacité disponible sur les postes machine et main-d'œuvre, ventilée par périodes, stocks disponibles en produits finis, sous-ensembles, composants et matières premières). Il en résulte selon le cas la création d'ordres de fabrication (OF), d'ordres d'achat (OA) ou d'ordres de sous-traitance (OST).

Les *données d'un OF* sont typiquement la *référence* de l'ordre, la référence de l'*article* concerné, la *quantité* à produire, les *dates* de début et de fin, la *gamme* à utiliser, les dates de création et de modification de l'OF, éventuellement la référence de la commande. Les données d'un OA ou d'un OST sont quasiment les mêmes à l'exception de la gamme.

Les *données du suivi de production* concernent l'état d'avancement des travaux, les niveaux de qualité et des en-cours. Le suivi est plus ou moins détaillé, notamment en fonction de la durée des ordres et des opérations. Dans le cas d'un suivi détaillé par opération, elles comporteront la référence de l'OF, le numéro de l'opération, le poste concerné, le code de l'opérateur, le type d'opération, les dates-heures de début, interruption, reprise ou fin d'opération, les quantités de pièces bonnes, à reprendre ou à rebuter...

Le suivi des stocks se traduit par la saisie des informations concernant tous les mouvements physiques d'entrées et sorties de magasin. Les *données de suivi* des stocks comprennent la référence article ou outillage, la quantité, la date du mouvement, le type de mouvement (entrée ou sortie, manuelle, ou automatique, régularisation d'inventaire...), le code du magasinier, le numéro de lot de l'article, le numéro de l'ordre (OF, OA ou OST), le numéro de l'opération concernée...

9.3 Données historiques

Les données historiques constituent un journal et une synthèse de l'activité de production. Ainsi, on conserve l'historique des mouvements de stocks, des commandes, ordres d'achat et de sous-traitance avec la réponse de l'entreprise en matière de quantités, qualité, prix, délais. Les modifications techniques apportées aux produits sont utiles au service après-vente. Le cumul par OF des données du suivi de production permet de calculer le coût de revient de l'OF, qui pourra être comparé au coût prévu. Ces données historiques constituent donc le capital mémoire de l'entreprise qui permettra d'analyser le passé pour prévoir et améliorer le futur.

10. Qualité des données techniques

Les données techniques sont la base du système de gestion de la production. La *qualité* de cette *gestion* est donc en partie liée avec la *qualité des données* : la planification et la programmation ne seront réalistes que si les données techniques sont exactes. Pour ce faire, il faut tout d'abord que les données soient *exactes* au moment de leur *création*, et, en outre, qu'elles soient *maintenues à jour* lors des *modifications*. L'exactitude des données repose tout d'abord sur la formation et la motivation des personnes qui les gèrent, et, ensuite, sur la prévention et la détection des erreurs par choix du système de codification, recherche de vraisemblance des transactions...

Après étude d'un grand nombre de cas réels d'entreprise, les cabinets Oliver Wright estiment qu'il est nécessaire, pour qu'un système de gestion de production fonctionne bien (entreprise de classe A), que certains *indicateurs de performances* satisfassent des valeurs minimales (figure 6.25).

Figure 6.25 – Exigence de qualité des données

Fichier	Indicateur de performance	Minimum
Stocks	Nb stocks exacts/nb stocks vérifiés $\frac{\text{stock physique} - \text{stock informatique}}{\text{stock informatique}} < \text{tolérance (2 \%)}$	95 %
Nomenclatures	Nb nomenclatures exactes /nom. vérifiées Composants et coefficients exacts Nomenclature complète Structure reflétant la production et sa gestion	98 %
Gammes	Nb gammes exactes/nb gammes vérifiées Séquences opératoires exactes Postes de charge exacts Temps à 10 % près (+ ou -)	98 %

C'est en disposant de données d'une telle qualité, maintenues à jour, que l'entreprise planifiera dans de bonnes conditions de réalisme la production, qui pourra alors être exécutée dans les conditions les plus favorables.

11. Conclusion

Les données techniques représentent les fondations de toute gestion industrielle. Elles touchent toutes les fonctions de l'entreprise en formant le cœur du système d'information de l'entreprise. Les meilleurs outils et méthodes ne donneront que de piètres résultats si les données techniques manipulées sont erronées ou mal structurées.

Nous avons développé dans ce chapitre les principales données qui doivent être formalisées pour mettre en œuvre une bonne gestion de production telles que les nomenclatures, gammes, articles, clients, fournisseurs... Nous verrons dans les prochains chapitres comment sont manipulées ces données notamment dans le chapitre consacré à MRP.

Chapitre 7

Management des ressources de la production (MRP2)

1. Gestion des stocks et MRP2

1.1 Limites des méthodes traditionnelles de gestion des stocks

Les méthodes traditionnelles de gestion des stocks décrites au chapitre 5 ont toutes les caractéristiques suivantes :

- Les articles sont gérés indépendamment les uns des autres.
- On suppose implicitement que la consommation antérieure de chacun des articles se répétera dans le futur.
- En supposant que l'on ait effectivement besoin dans le futur de chaque article, on ne se préoccupe pas de la date où ce besoin sera effectif.

Il en résulte notamment, en cas d'arrêt de la vente d'un produit, une stabilisation du système dans un état où les stocks intermédiaires sont pleins et, inversement, en cas d'augmentation brutale des ventes, une certaine inertie de réaction du système avec risque de ruptures.

Ces limitations ont conduit à mettre au point à partir de 1965 aux États-Unis un concept de gestion de la production permettant d'anticiper les besoins exacts avec leur décalage dans le temps. Cette méthode a été initialement appelée MRP (pour *Material Requirements Planning*, soit « calcul des besoins nets »). Par la suite, une évolution en plusieurs étapes a permis d'aboutir au concept de MRP2, où les mêmes initiales ont une signification bien plus globale : *Manufacturing Resource Planning* que l'on peut traduire par « Management des Ressources de la Production ». Nous reviendrons par la suite sur cette progression du concept, mais il importe immédiatement de souligner qu'il est nécessaire de préciser, lorsqu'on parle de MRP, de quel stade il s'agit. Ainsi, bon nombre d'entreprises et de logiciels estiment « faire du MRP » dès qu'un calcul des besoins est effectué, alors que maintenant le concept MRP doit être appliqué uniquement dans le sens global MRP2 !

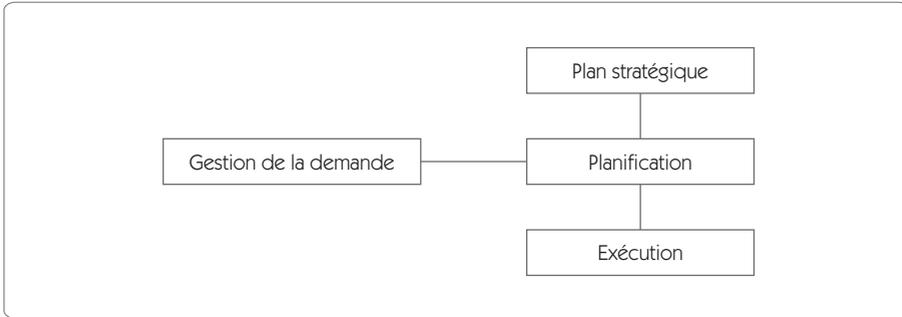
1.2 Schéma global de MRP2

Le concept MRP2 permet de gérer la production depuis le long terme jusqu'au court terme. C'est également une méthode de simulation de l'activité industrielle qui permet de répondre à la question générale « Que se passe-t-il si ? »

C'est un outil de communication entre les diverses fonctions de l'entreprise, notamment les fonctions Commerciale et Production. Il permet à tous les services de l'entreprise de gérer la production en parlant un langage commun.

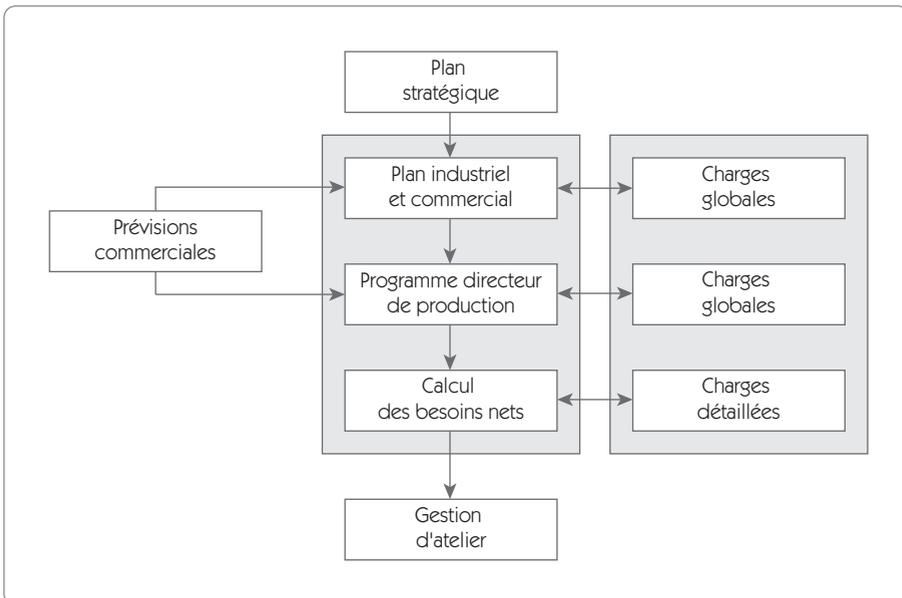
Le schéma 7.1 illustre le principe général de MRP2, avec la planification déduite de la gestion de la demande (prévisions commerciales et commandes des clients) et l'exécution.

Figure 7.1 – Principe général MRP2



La figure 7.2 détaille le schéma précédent en présentant les trois niveaux de la planification. Il précise, en outre, l'indispensable gestion des charges et des capacités qui permet de valider chaque niveau afin de maintenir un degré de réalisme indispensable au bon fonctionnement du système.

Figure 7.2 – Schéma MRP2 avec les trois niveaux de planification



1.3 Principe d'Orlicky

Une entreprise fabrique et achète des articles selon ses besoins ; c'est en tous cas ce qu'elle devrait faire ! Le concept MRP est consécutif à la mise en évidence, par Joseph Orlicky, de la répartition de ces besoins en deux types fondamentaux : les besoins indépendants et les besoins dépendants.

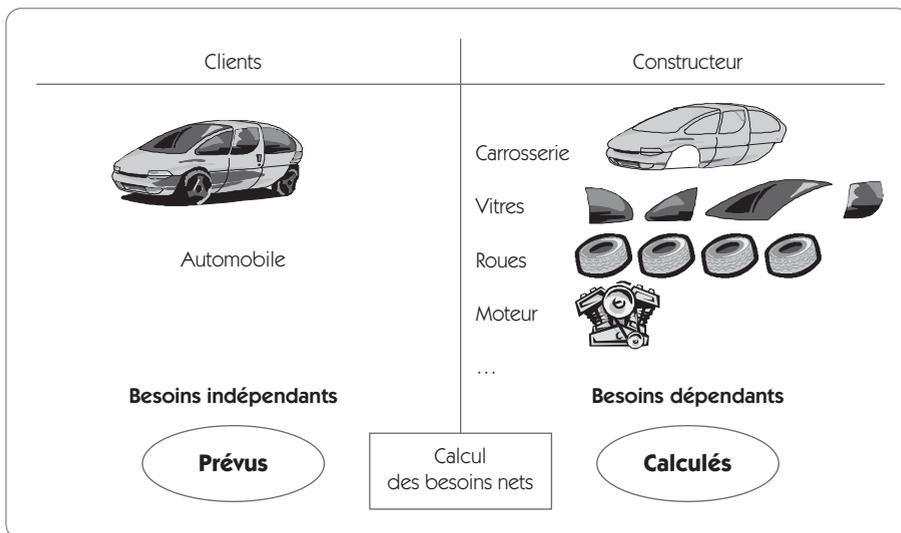
Les *besoins indépendants* sont ceux qui proviennent de l'extérieur de l'entreprise, indépendamment de sa volonté propre. Il s'agit de façon typique des produits finis et des pièces de rechange achetés par les clients de l'entreprise.

Les *besoins dépendants*, au contraire, sont générés par les précédents. Ils proviennent donc de l'intérieur de l'entreprise elle-même. Il s'agit des sous-ensembles, composants, matières premières..., entrant dans la composition des produits vendus.

Ces deux types de besoin exigent un traitement totalement différent, exprimé dans le *principe d'Orlicky* :

Les *besoins indépendants* ne peuvent être qu'*estimés* par des *prévisions*. Les *besoins dépendants*, au contraire, peuvent et doivent être *calculés* (figure 7.3).

Figure 7.3 – Besoins indépendants et besoins dépendants



Les modes de gestion de ces deux types de besoin sont donc totalement différents, puisque dans le premier cas ils reposent sur des méthodes de prévision (chapitre 3) alors que, dans le second cas, ils font appel à la technique du calcul des besoins nets (voir section ci-après). Ainsi, pour la voiture de la figure 7.3, des prévisions de ventes seront à la base de l'estimation du volume de production nécessaire en véhicules. Quant aux composants, les quantités à fabriquer ou acheter, nécessaires pour assembler ces véhicules, seront calculées en se fondant sur les nomenclatures (voir chapitre 6).

Il faut dès à présent remarquer que certains articles peuvent avoir des besoins à la fois indépendants et dépendants. Ainsi, un article peut entrer dans la composition d'un produit (besoin dépendant) et être également vendu en pièce de rechange (besoin indépendant).

2. Le calcul des besoins nets (CBN)

2.1 Généralités

Comme cela a été précisé au début de ce chapitre (§ 1.1, « Limites des méthodes traditionnelles... »), historiquement, MRP2 a été initié par le calcul des besoins nets. Et même si ce calcul doit être précédé par une planification plus globale, le calcul des besoins nets constitue le cœur de MRP2. Une étude détaillée du management des ressources de production doit donc s'y intéresser en premier lieu.

Le calcul des besoins nets a pour objet de définir, à partir des besoins indépendants, l'ensemble des besoins dépendants. Il fournit les approvisionnements etancements de fabrication de tous les articles autres que les produits finis, dans les périodes à venir. Il vérifie en outre la cohérence des dates de livraison et des dates de besoin, notamment si les besoins changent ou sont décalés dans le temps.

Pour effectuer le calcul des besoins nets, il faut connaître l'échéancier des besoins en produits finis (quantités et dates de besoin). Nous verrons par la suite que c'est le *programme directeur de production* qui donne ces indications et qui constitue donc le *point de départ du calcul des besoins nets*.

Voici les *informations nécessaires* lors du calcul :

- les nomenclatures donnant les constituants de chaque article ;
- les délais d'obtention des articles (délais de fabrication, d'assemblage ou d'approvisionnement de produits achetés) ;
- les ressources constituées par les articles en stock ou les articles qui vont être disponibles (ordres de fabrication lancés, ordres d'achat en cours et ordres planifiés fermes, c'est-à-dire figés par le gestionnaire) ;
- les règles de gestion fixées comme la taille de lot et éventuellement la valeur d'un stock de sécurité ou d'un taux de rebut.

Les *résultats* du calcul des besoins nets sont :

- des *ordres proposés*, c'est-à-dire des lancements prévisionnels en fabrication ou des approvisionnements prévisionnels ;
- des *messages* proposant au gestionnaire les actions particulières à mener (lancer, avancer, reporter un ordre de fabrication) en vue d'une bonne gestion de la production prévue.

2.2 Échéancier du calcul des besoins

L'échéancier du calcul des besoins de chaque article géré revêt la forme d'un tableau, représenté à la figure 7.4. Les colonnes correspondent aux périodes successives à partir de la date actuelle. La valeur de la période dépend du délai de production dans le processus considéré ; elle est couramment d'une semaine mais peut être d'un jour. L'horizon de planification correspond au nombre de périodes pour lesquelles on effectue le calcul des besoins. Il est évidemment lié au délai d'obtention des produits finis et à la position de l'article considéré dans la nomenclature du produit fini. Il peut être par exemple d'un an.

Figure 7.4 – Échéancier du calcul des besoins nets

$$St = 150 ; L = 500 ; D = 2$$

Article S		1	2	3	4	5
Besoins bruts			500	500	500	250
Ordres lancés			500			
Stocks prévisionnels	150	150	150	150	150	400
Ordres proposés	Fin			500	500	500
	Début	500	500	500		
Message : Lancer 500 S en période 1						

Dans les colonnes, *toutes* les valeurs sont valables en *début de période*, *sauf* le *stock prévisionnel* : les « besoins bruts » doivent être satisfaits en début de période, les « ordres lancés » (en attente de production ou achats en cours de livraison) sont disponibles en début de période, les « ordres proposés » ont des dates de début et fin en début de période, et en revanche les « stocks prévisionnels » donnent la valeur en fin de période. Un tel tableau va permettre d'effectuer le calcul en se plaçant au début de la première période.

En tête du tableau figurent :

- Le **stock de départ** ($St = 150$) qui est le stock réel d'articles au moment du calcul. Avec les conventions indiquées, nous plaçons le stock actuel dans la case située à gauche de la première période, sur la ligne stock prévisionnel.
- La **taille de lot** ($L = 500$) précisant le groupement des articles d'un ordre (besoins nets, c'est-à-dire quantité exactement nécessaire, quantité fixe comme une quantité économique, multiple d'une quantité... Dans les exemples qui suivent, nous opterons pour ce dernier choix).
- Le **délai** ($D = 2$) d'obtention de l'article, exprimé en nombre de périodes, donnant le délai de production ou le délai de livraison de cet article. Il servira au décalage entre les dates début et fin d'un ordre.

Les lignes du tableau donnent successivement :

- Les **besoins bruts** ($BB = 500$ en colonne 2) qui proviennent du programme directeur de production dans le cas d'articles gérés à ce niveau (produits finis en général) ou des besoins d'articles situés au niveau de nomenclature juste supérieur (date début d'ordres de fabrication planifiés pour un article-parent).
- Les **ordres lancés** ($OL = 500$), c'est-à-dire ordres de fabrication en cours de production, ou ordres d'achat en cours de livraison et attendus pour la période indiquée.
- Le **stock prévisionnel** ($SP = 150$) qui est le stock attendu après les transactions réalisées au cours de la période donnée. En effet, les ordres lancés et les ordres proposés (*fin*) alimentent le stock tandis que les besoins bruts le font décroître.
- Les **ordres proposés** ($OP = 500$ en colonne 3) qui sont les ordres suggérés par le système pour satisfaire les besoins à la date de *fin*. La ligne *début* indique le lancement proposé de l'ordre en tenant compte du délai (D) d'obtention de l'article (la date *début* de l'OP donné en exemple est en période $3 - D = 3 - 2 = 1$).

La dernière ligne, sous le tableau, contient les *messages* destinés au gestionnaire. Nous les décrivons par la suite. Ici, par exemple, il lui est proposé de lancer 500 articles S en période 1 afin qu'ils soient disponibles en début de période 3.

2.3 Mécanisme du calcul des besoins

2.3.1 Logique du calcul des besoins

- Le besoin net de la période p (BNp) est obtenu en déduisant du besoin brut de cette période (BBp) le stock prévisionnel existant en début de période ($SPp-1$) et les ordres lancés attendus en période p (OLp), comme indiqué sur la figure 7.5.
- Si le résultat est positif, le besoin net existe et il faut prévoir des ordres de fabrication ou des ordres d'achats que le système placera avec date de fin p et date de début $p - D$.

- Le stock prévisionnel en fin de période p (SP_p) s'obtient en ajoutant au stock prévisionnel de début de période, donc en fin de période précédente (SP_{p-1}), les ordres lancés (OL_p) et proposés (OP_p) de la période, et en retranchant le besoin brut (BB_p) comme le rappelle la figure 7.5.

Le paragraphe suivant (§2.3.2) illustre ces calculs sur des exemples numériques.

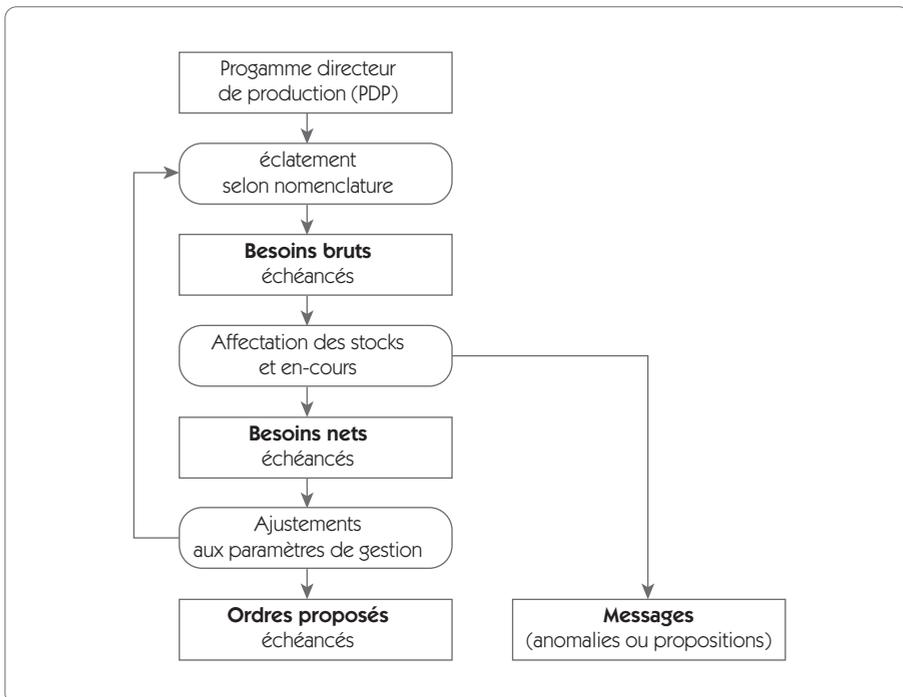
Figure 7.5 – Calcul du besoin net et du stock prévisionnel

$$BN_p = BB_p - SP_{p-1} - OL_p$$

$$SP_p = SP_{p-1} - OL_p - BB_p$$

Le schéma 7.6 rappelle la logique du calcul des besoins.

Figure 7.6 – Logique du calcul des besoins nets

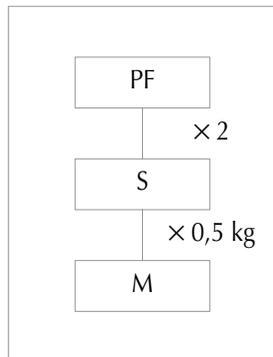


On imaginera aisément à partir des exemples des paragraphes suivants que le nombre d'opérations très simples générées par un calcul des besoins est considérable dans le cas d'une entreprise. En effet, ce dernier porte sur des milliers d'articles décrits par les nomenclatures et chaque tableau s'étend par exemple sur 53 périodes (nombre de périodes d'une semaine pour un horizon d'un an)... L'utilisation d'un ordinateur est donc indispensable.

2.3.2 Premier exemple de calcul des besoins

Nous allons illustrer le mécanisme décrit au paragraphe précédent à l'aide d'un exemple simple : un produit fini *PF* est constitué de 2 articles *S*, chaque *S* étant fabriqué à partir de 0,5 kg de l'article *M* (figure 7.7).

Figure 7.7 – Nomenclature multi-niveaux de *PF*



Le tableau 7.8 détaille le mécanisme du calcul des besoins nets sur l'exemple défini ci-avant. Pour l'article *PF*, tout d'abord, les besoins bruts proviennent du programme directeur de production.

Figure 7.8 – Calcul des besoins nets de l'article PF

$$St = 300 ; L = 250 ; D = 1$$

Article PF		1	2	3	4	5
Besoins bruts		100	150	150	200	250
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	300	200	50	150	200	200
Ordres proposés	Fin			250	250	250
	Début		250	250	250	

Calculs pour le produit PF

Expliquons l'ensemble des calculs permettant de remplir le tableau 7.8 :

$$BN1 = BB1 - SP0 = 100 - 300 < 0 \quad \text{donc } BN1 = 0$$

$$SP1 = SP0 - BB1 = 300 - 100 = 200$$

$$BN2 = BB2 - SP1 = 150 - 200 < 0 \quad \text{donc } BN2 = 0$$

$$SP2 = SP1 - BB2 = 200 - 150 = 50$$

$$BN3 = BB3 - SP2 = 150 - 50 = 100 \quad \text{donc } OP3 = Lot = 250$$

(avec début en
 $3 - D = 3 - 1 = 2$)

$$SP3 = SP2 + OP3 - BB3 = 50 + 250 - 150 = 150$$

$$BN4 = BB4 - SP3 = 200 - 150 = 50 \quad \text{donc } OP4 = 250$$

(avec début en
 $4 - D = 4 - 1 = 3$)

$$SP4 = SP3 + OP4 - BB4 = 150 + 250 - 200 = 200$$

$$BN5 = BB5 - SP4 = 250 - 200 = 50 \quad \text{donc } OP5 = 250$$

$$SP5 = SP4 + OP5 - BB5 = 200 + 250 - 250 = 200$$

D'après la nomenclature (figure 7.7), pour commencer à produire un article *PF*, il faut disposer de deux articles *S*. Il en résulte que, en début des périodes 2, 3 et 4, les ordres proposés pour *PF* (date début en dernière ligne du tableau 7.8, rappelée en tête du tableau 7.9) créent les besoins bruts de l'article *S* :

$$BB2 = BB3 = BB4 = 2 \times 250 = 500 \text{ (tableau 7.9).}$$

Puis, le même mécanisme que précédemment évalue les besoins nets en article *S* et place des ordres proposés. Remarquons simplement que la période 1 a un besoin brut nul et qu'en période 2 un ordre lancé est attendu (ce dernier a normalement été lancé dans la période qui précède la période actuelle avec un *décalage* de 2 et sera disponible en début de période 2).

Figure 7.9 – Calcul des besoins nets de l'article S

Ordres proposés PF	Début		250	250	250	
$St = 150 ; L = 500 ; D = 2$						
Article S		1	2	3	4	5
Besoins bruts			500	500	500	
Ordres lancés			500			
Stocks prévisionnels	150	150	150	150	150	150
Ordres proposés	Fin			500	500	
	Début	500	500			
Message : Lancer 500 S en période 1						

Calculs pour l'article S

$$BN1 = BB1 - SP0 = 0 - 150 < 0 \quad \text{donc } BN1 = 0$$

$$SP1 = SP0 - BB1 = 150 - 0 = 150$$

$$BN2 = BB2 - SP1 - OL2 = 500 - 150 - 500 = -150 < 0 \\ \text{donc } BN2 = 0$$

$$BN3 = BB3 - SP2 = 500 - 150 = 350 \quad \text{donc } OP3 = 500$$

(avec début en
 $3 - D = 3 - 2 = 1$)

$$SP3 = SP2 + OP3 - BB3 = 150 + 500 - 500 = 150$$

$$BN4 = BB4 - SP3 = 500 - 150 = 350 \quad \text{donc } OP4 = 500$$

(avec début en
 $4 - D = 4 - 2 = 2$)

$$SP4 = SP3 + OP4 - BB4 = 150 + 500 - 500 = 150$$

$$BB5 = 0 \quad \text{donc } SP5 = SP4 = 150$$

Article M

Les besoins bruts en article *M* (tableau 7.10) sont entraînés par les ordres proposés de *S* : $BB1 = BB2 = 0,5 \times 500 = 250$.

Le calcul des besoins de l'article *M* se déroule encore de la même façon avec notamment un ordre d'achat attendu en période 2 (normalement lancé il y a 2 périodes). Nous constatons ici que le stock initial et cette réception attendue suffisent pour assurer les besoins des 5 périodes étudiées sans aucun ordre proposé.

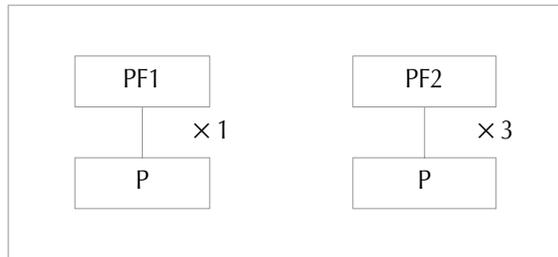
Figure 7.10 – Calcul des besoins nets de l'article M

Ordres proposés S		Début	500	500			
$St = 300 ; L = 200 ; D = 3$							
Article M			1	2	3	4	5
Besoins bruts			250	250			
Ordres lancés				200			
Stocks prévisionnels	300	50	0	0	0	0	
Ordres proposés	Fin						
	Début						

2.3.3 Deuxième exemple de calcul des besoins (2 composés, 1 composant)

Prenons le cas d'un composant *P* utilisé dans les produits finis *PF1* et *PF2*, avec respectivement les coefficients 1 et 3 (figure 7.11).

Figure 7.11 – Nomenclatures de PF1 et PF2



Le calcul des besoins correspondant figure aux tableaux 7.12, 7.13 et 7.14. Remarquons simplement que le besoin brut de *P* est la somme du besoin généré par *PF1* et *PF2*. Ainsi, $BB2 = 1 \times 250 + 3 \times 200 = 850$.

Figure 7.12 – Calcul des besoins nets de l'article PF1

$$St = 300 ; L = 250 ; D = 1$$

Article PF1		1	2	3	4	5
Besoins bruts		100	150	150	200	250
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	300	200	50	150	200	200
Ordres proposés	Fin			250	250	250
	Début		250	250	250	

Figure 7.13 – Calcul des besoins nets de l'article PF2

$$St = 150 ; L = 200 ; D = 2$$

Article PF2		1	2	3	4	5
Besoins bruts			100		100	
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	150	150	50	50	150	150
Ordres proposés	Fin				200	
	Début		200			

Figure 7.14 – Calcul des besoins nets de l'article P

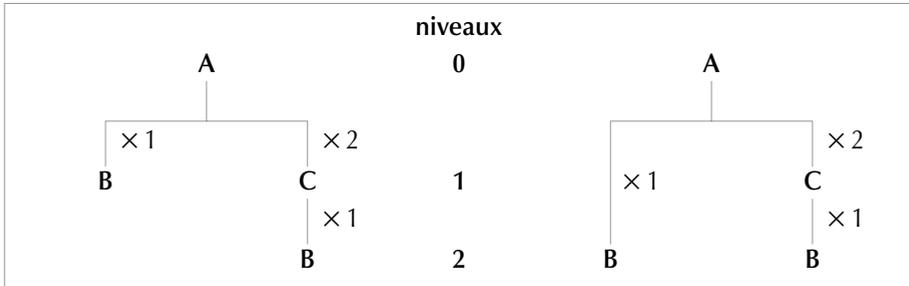
$$St = 300 ; L = 600 ; D = 1$$

Article P		1	2	3	4	5
Besoins bruts			850	250	250	
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	300	300	50	400	150	150
Ordres proposés	Fin		600	600		
	Début	600	600			
Message : Lancer 600 P en période 1						

2.3.4 Troisième exemple (règle du plus bas niveau)

Considérons l'article *A*, composé d'un *B* et de deux *C*, où *C* est lui-même composé d'un *B* (figure 7.15). La règle du plus bas niveau, vue au chapitre 6 (§ 6.1), nous indique que l'article *B* est situé au niveau 2 (partie droite de la figure 7.15) pour réaliser le mécanisme d'explosion des nomenclatures du calcul des besoins.

Figure 7.15 – Application de la règle du plus bas niveau



Les tableaux 7.16 à 7.18 décrivent le calcul. On remarquera qu'il est nécessaire de remplir les tableaux concernant les articles A et C pour connaître les besoins bruts de B.

Figure 7.16 – Calcul des besoins nets de l'article A

$$St = 450 ; L = 400 ; D = 1$$

Article A		1	2	3	4	5
Besoins bruts		200	200	200	200	200
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	450	250	50	250	50	250
Ordres proposés	Fin			400		400
	Début		400		400	

Figure 7.17 – Calcul des besoins nets de l'article C

$$St = 850 ; L = 900 ; D = 1$$

Article C		1	2	3	4	5
Besoins bruts			800		800	
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	850	850	50	50	150	150
Ordres proposés	Fin				900	
	Début			900		

Figure 7.18 – Calcul des besoins nets de l'article B

$$St = 500 ; L = 800 ; D = 2$$

Article B		1	2	3	4	5
Besoins bruts			400	900	400	
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	500	500	100	0	400	400
Ordres proposés	Fin			800	800	
	Début	800	800			
Message : Lancer 800 B						

2.4 Les différents types d'ordres

Dans le calcul des besoins, trois types d'ordres sont utilisés :

- Les **ordres proposés** sont calculés par le système et, si les besoins changent, ils seront automatiquement réordonnés par le système. De plus, ils sont systématiquement décomposés en éléments selon les nomenclatures.
- Les **ordres lancés** sont en cours de réalisation (en fabrication ou en approvisionnement). Les quantités et dates ont été fixées par le gestionnaire au moment du lancement. Ils ne peuvent être réordonnés que par le gestionnaire (suite à un message par exemple) et ne sont plus décomposés en éléments puisqu'ils l'ont déjà été avant lancement.
- Les **ordres fermes** sont mis en place par le gestionnaire afin de pouvoir figer les quantités et/ou les dates. Il s'agit d'un lancement prévisionnel qui ne doit être utilisé que pour des situations exceptionnelles (planifier une quantité différente du lot normal, par exemple en cas de rupture, planifier des pièces à réaliser dans un délai différent du délai habituel de fabrication ou d'approvisionnement, notamment pour des problèmes de surcharge dans une période donnée...). S'il y a modification des besoins, ces ordres ne sont pas réordonnés par le système qui

réagira par *message*. En revanche, n'étant pas physiquement lancés, les ordres fermes doivent être décomposés en éléments comme les ordres proposés.

Le tableau 7.19 montre l'utilisation d'un ordre ferme que le gestionnaire a placé avec date de fin en période 4 car la dernière opération de la gamme ne peut avoir lieu en période 5 (surcharge). On remarquera que le système a réagi par message que le gestionnaire décidera de ne pas suivre !

Figure 7.19 – Exemple d'ordre ferme

St = 190 ; L = 500 ; D = 2

Article X127		1	2	3	4	5
Besoins bruts		150	180	140	200	210
Ordres lancés			500			
Stocks prévisionnels	190	40	360	220	520	310
Ordres proposés	Fin				500 F	
	Début		500 F			
Message : Reculer ordre de 500 X127 avec date de fin en période 4 pour fin en période 5.						

2.5 Les messages du calcul des besoins

Nous avons déjà indiqué précédemment que le calcul des besoins produisait deux types de résultats : d'une part, il émet des propositions d'ordres que nous venons de détailler, d'autre part, il propose des messages. Ceux-ci sont destinés au gestionnaire afin de l'aider à prendre des décisions anticipées sur des problèmes potentiels détectés. Remarquons, dans les deux cas, que ce n'est pas le système informatique qui décide ; il ne constitue qu'une aide à la décision pour le gestionnaire.

Le premier type de message est le plus fréquent et il est tout à fait normal : *lancer un ordre proposé* en début de période courante. Il correspond à une valeur dans la ligne « Ordres proposés début » de l'échéancier du calcul des besoins. Nous en avons un exemple au tableau 7.14.

Les messages d'anomalie courants sont *Avancer ou Reculer un ordre lancé ou un ordre ferme*. L'ordre devrait être réordonné en avance de n périodes pour compenser un stock prévisionnel négatif ou en retard de n périodes pour éviter un stock prévisionnel trop important. Au paragraphe précédent, nous avons vu ce message dans l'exemple de l'ordre ferme (tableau 7.19). Un message plus rare propose d'*Annuler un ordre* car le besoin n'existe plus.

2.6 Stocks de sécurité

Dans tout le paragraphe concernant le calcul des besoins, nous n'avons pas parlé de stock de sécurité, car une entreprise qui maîtrise bien sa gestion de production peut se passer de stock de sécurité au niveau des composants fabriqués et des sous-ensembles. Dans le cas de rebuts variables, toutefois, un stock de sécurité peut constituer un « coussin ». L'existence d'un stock de sécurité se traite aisément puisqu'il suffit de remarquer que ce n'est plus un besoin net positif, mais simplement supérieur au stock de sécurité qui déclenche un ordre proposé (par exemple, s'il y a un stock de sécurité de 50, un ordre proposé aura une *date de fin* dans la période dès que le stock prévisionnel atteindra 50). Une autre manière de le prendre en compte est de soustraire le stock de sécurité du stock initial et de pratiquer comme précédemment : la figure 7.20 reprend le calcul du tableau 7.14 dans le cas d'un stock de sécurité de 50.

Figure 7.20 – Exemple de calcul des besoins nets avec stock de sécurité

$$SS = 50 ; St = 300 ; L = 600 ; D = 1$$

Article P		1	2	3	4	5
Besoins bruts			850	250	250	
Ordres lancés						
Stocks prévisionnels	250	250	0	350	100	100
Ordres proposés	Fin		600	600		
	Début	600	600			
Message : Lancer 600 P						

3. Le plan industriel et commercial (PIC)

3.1 Définition et objectif du PIC

Nous venons de détailler le maillon inférieur de la planification, le calcul des besoins. Le plan industriel et commercial (PIC), quant à lui, est situé au plus haut niveau du management des ressources de la production, juste en dessous du plan stratégique de l'entreprise (figure 7.2). C'est l'élément de base de la planification élaboré par un dialogue constructif entre les responsables commerciaux, de la production, des achats... et la direction de l'entreprise.

Il a pour objet de permettre un cadrage global de l'activité, établi par famille de produits. Ce cadrage facilite l'orientation de l'allocation des ressources clés de l'entreprise qui peuvent être : la main-d'œuvre, la capacité machines, les approvisionnements longs, les heures de bureau d'études...

Le plan industriel et commercial permet d'anticiper globalement les problèmes potentiels, notamment une inadéquation entre la capacité de l'entreprise et la charge induite par les besoins commerciaux. La prise de décision anticipée permet d'assurer, à un niveau global, le service client souhaité.

La maîtrise du PIC impose un nombre limité de familles compris entre 5 et 20 selon les entreprises. Le caractère global se retrouve dans la taille des périodes utilisées : le mois et même le trimestre (au-delà d'un an). L'horizon dépend du délai total des produits, du délai d'acquisition des équipements..., et sera de 18 mois à 2 ans ou même plus.

L'unité employée doit pouvoir représenter les familles de produits et être bien comprise des acteurs du PIC. Elle doit être suffisamment globale, là encore : tonne, heures standard... Une unité souvent utilisée et qui se justifie à ce niveau de management de l'entreprise est l'euro ou le millier d'euros (k€).

Le PIC est généralement revu au cours d'une réunion mensuelle entre direction générale et directeurs opérationnels. Les acteurs principaux en sont les directions commerciale, industrielle et logistique. Cette ren-

contre au plus haut niveau est essentielle, car elle permet de faire le point sur le fonctionnement de l'entreprise. Elle nécessite donc la présence de tous les acteurs cités.

3.2 Établissement du PIC

Le PIC est un contrat global entre le service Production et le service Commercial. La démarche qu'il propose repose sur l'établissement de prévisions de vente et de production. Remarquons que les prévisions portant sur des familles plutôt que sur des produits et des périodes relativement longues ont une meilleure précision. Il est important, en outre, que les prévisions de production tiennent compte des possibilités réelles de production de l'entreprise.

La responsabilité des prévisions de vente incombe au service Commercial et celle des prévisions de production appartient au service Production. La logique conduit à définir le stock disponible à chaque fin de période.

L'objectif de stock est un compromis entre plusieurs intérêts contradictoires : le souhait du service Commercial de disposer d'un stock suffisamment copieux afin d'assurer un bon service client, l'objectif économique de l'entreprise cherchant à minimiser l'immobilisation financière et, enfin, les possibilités de production ne permettant pas de suivre les variations brutales de la demande et l'obligeant à lisser la charge.

Le document du PIC (figure 7.21) comporte trois tableaux : Ventes, Production et Stocks. Par ailleurs, chacun de ces tableaux dispose, à gauche, d'une partie « passé » où nous trouverons des valeurs réelles et, à droite, d'une partie « futur » où ne figureront que des prévisions. En ce qui concerne le passé, des indicateurs permettent de comparer les prévisions et le réel. Ici, par exemple, sont mentionnés les écarts « réel-prévisionnel » et un écart en pourcentage (attention, pour le stock, il s'agit du pourcentage par rapport à l'objectif). Au prochain paragraphe (§ 3.3), nous calculerons ces indicateurs, ce qui permettra de bien les assimiler. En outre, en bas et à droite, figure l'objectif de stock correspondant à l'objectif financier décidé.

Figure 7.21 – Échéancier du PIC

Famille :

Unité :

Date :

Ventes	M - 3	M - 2	M - 1	M	M + 1	M + 2	M + 3	M + 4
Prévisionnel								
Réel								
Écart								
Écart en %								

Production	M - 3	M - 2	M - 1	M	M + 1	M + 2	M + 3	M + 4
Prévisionnel								
Réel								
Écart								
Écart en %								

Stock	M - 3	M - 2	M - 1	M	M + 1	M + 2	M + 3	M + 4
Prévisionnel								
Réel								
Écart								
% d'objectif								

Objectif de stock :	

3.3 Exemple de PIC

La figure 7.22 illustre l'établissement du PIC de la famille A au cours de la réunion du 2 avril. Les colonnes de janvier et février ont déjà été remplies lors des réunions analogues des deux mois précédents et les valeurs réelles de vente et de production du mois de mars viennent d'être connues. Le nouveau stock réel est :

$$S_{mar} = S_{fév} + P_{mar} - V_{mar} = 210 + 490 - 510 = 190$$

Les indicateurs de performances, mis en place au §3.2, sont les suivants :

$$510 - 500 = 10 \quad \text{soit} \quad 10/500 = 2 \% \quad \text{pour la vente}$$

$$490 - 510 = -20 \quad \text{soit} \quad -20/510 = -4 \% \quad \text{pour la production}$$

$$190 - 210 = -20 \quad \text{avec} \quad 190/250 = 76 \% \quad \text{de l'objectif de stock}$$

L'examen des trois mois passés montre que la production n'a pas atteint ses prévisions et que le service commercial les a dépassées. Le stock est actuellement tombé en dessous de la fourchette prévue. La réunion de PIC est là pour décider de la politique à choisir. Nous complétons les tableaux en supposant que les problèmes de production soient résolus et permettent d'être au niveau 520 k€ pour les mois à venir. Avec les ventes prévues, le niveau de stock remontera rapidement vers l'objectif.

Figure 7.22 – Établissement du PIC

Famille : A

Unité : k€

Date : 2 avril

Ventes	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Prévisionnel	500	500	500	500	500	510	510	520
Réel	510	510	510					
Écart	10	10	10					
Écart en %	2	2	2					

Production	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Prévisionnel	490	500	510	520	520	520	520	520
Réel	480	490	490					
Écart	- 10	- 10	- 20					
Écart en %	- 2	- 2	- 4					

Stock	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Prévisionnel	250	230	210	210	230	240	250	250
Réel	230	210	190					
Écart	- 20	- 20	- 20					
% d'objectif	92	84	76					

		300
Objectif de stock :	250	
		200

Lors de l'établissement du PIC, on peut choisir entre deux politiques extrêmes :

- La première où la production suit les variations des prévisions commerciales avec une nécessaire flexibilité.
- La seconde où, au contraire, la production est lissée, c'est-à-dire à niveau constant, ce qui entraîne des variations de stock (avec risque de stock élevé à certains moments et risque de rupture à d'autres).

Naturellement, entre ces deux solutions, il est possible de faire un choix intermédiaire permettant de suivre dans une certaine mesure les variations de la demande et en modulant la capacité des ressources de production. C'est ce qui est fait dans les entreprises à caractère saisonnier prononcé, par exemple, celles fabriquant des matériels de sports d'hiver. On stocke avant la saison malgré une capacité réduite (horaire réduit avec congé) et on accroît la capacité (horaire lourd et embauche d'intérimaires) au moment de la forte demande.

3.4 Calcul global de charge au niveau du PIC

Pour que le management des ressources de la production donne des résultats qui puissent être appliqués au niveau de l'exécution, il est fondamental que, dès le départ, le niveau du plan industriel et commercial soit réaliste en termes d'équilibre entre charge et capacité. Si la charge dépasse la capacité de la ressource considérée, deux solutions extrêmes sont possibles : augmenter la capacité ou diminuer la charge. Et là encore toute solution intermédiaire est envisageable. On peut remarquer qu'en règle générale, une entreprise préférera augmenter la capacité car la charge correspond, en principe, à une demande des clients. Dans le cas du PIC, le calcul global de charge sera effectué sur les ressources critiques de l'entreprise.

En cas de surcharge, les actions consisteront, par exemple, en :

- heures supplémentaires ;
- emprunt de personnel à d'autres ateliers ;
- transfert d'activité sur d'autres ateliers ;
- embauche de personnel ;
- sous-traitance ;
- différé d'actions commerciales (promotions) ;
- mise en place d'équipes de week-end ;
- achat d'équipements ;
- achat de machines.

En cas de sous-charge, les actions consisteront en :

- réduction des heures supplémentaires ;
- prêts de personnel à d'autres ateliers ;
- arrêt de contrat de travail temporaire ;
- limitation de la sous-traitance ;
- relance d'actions commerciales ;
- suppression de machines (transfert, revente, arrêt simple) ;
- chômage technique.

L'horizon suffisamment « grand » doit permettre de déclencher ces mesures à temps, notamment quand elles demandent une préparation ou une mise en place importante (délai de livraison d'une grosse machine, formation de personnes embauchées).

En établissant le PIC d'une famille, nous avons déjà évoqué ce besoin en capacité. Mais une certaine ressource sera *a priori* utilisée par plusieurs familles de produits. Il faudra donc établir l'équilibre charge / capacité à partir de tous les PIC impliqués. Nous allons maintenant montrer le principe du calcul qui, évidemment, présente un caractère global.

Prenons comme exemple de ressource le personnel d'un atelier d'emboutissage où passent 4 familles de produits A, B, C et D. Des ratios donnent le nombre de personnes nécessaires pour produire 100 k€ par jour (tableau 7.23).

Figure 7.23 – Ratios utilisés pour le calcul des charges globales du PIC

Familles	Ratio
A	5
B	2
C	3
D	2

Le plan industriel (le PI est la partie Production du PIC) pour les 4 familles est donné dans le tableau 7.24.

Figure 7.24 – Plans industriels des familles A, B, C et D

	PIC (en k€/jour)				
	février	mars	avril	mai	juin
Famille A	200	180	210	230	200
Famille B	400	300	200	250	200
Famille C	400	400	500	600	500
Famille D	250	200	225	225	200

Pour calculer le nombre de personnes nécessaires dans l'atelier considéré, il suffit d'appliquer les ratios précédents. Le tableau 7.25 donne la charge correspondante. Ainsi, pour février, il faut :

$$5 \times 2 + 2 \times 4 + 3 \times 4 + 2 \times 2,5 = 35 \text{ personnes.}$$

Figure 7.25 – Calcul de la charge déduite du PI

	charge (nombre de personnes)				
	février	mars	avril	mai	juin
Famille A	10	9	10,5	11,5	10
Famille B	8	6	4	5	4
Famille C	12	12	15	18	15
Famille D	5	4	4,5	4,5	4
Total	35	31	34	39	33

Les ratios utilisés seront réactualisés une à deux fois par an selon la variation observée dans l'entreprise. Ajoutons que le calcul global de charge au niveau du PIC pourrait tout aussi bien porter sur la charge machine d'un atelier, mais le principe d'évaluation globale sur des produits « moyens » représentant les familles serait analogue.

On comprend aisément l'utilité du PIC, outil simple d'utilisation mais puissant, pour établir la planification globale de l'activité. Et son grand intérêt est de permettre d'y procéder sous la forme d'un contrat entre les responsables des diverses fonctions de l'entreprise.

4. Le programme directeur de production (PDP)

4.1 Définition et objectif du PDP

Le programme directeur de production (PDP) est un élément fondamental du management des ressources de la production. Il établit une passerelle entre le Plan industriel et commercial et le Calcul des besoins. C'est un *contrat* qui définit de façon précise l'*échancier des quantités à produire pour chaque produit fini*. Il est donc essentiel pour la fonction Commerciale qui veut satisfaire les clients de l'entreprise et pour la fonction Production car il va constituer le programme de référence pour la production. S'il est évident que l'idéal est de produire ce qui sera vendu, les contraintes industrielles existent et le PDP permettra d'en tenir compte. Un autre rôle important du PDP, c'est d'aider le gestionnaire à anticiper les variations commerciales.

Voici les principales fonctions du PDP :

- Il *dirige le calcul des besoins*, c'est-à-dire que, donnant les ordres de fabrication pour les produits finis, il induit l'explosion du calcul des besoins à travers les nomenclatures.
- Il *concrétise le plan industriel* (tableau Production du PIC) puisqu'il traduit en produits finis réels chaque famille du PIC.
- Il permet de *suivre les ventes réelles* en comparant les commandes reçues avec les prévisions.
- Il met à disposition du service Commercial le *disponible à vendre* qui est un outil donnant le nombre de produits finis disponibles à la vente sans remettre en cause le PDP prévu et donc sans déstabiliser la production.
- Il permet enfin de *mesurer l'évolution du stock* (avec niveau suffisant pour un bon service client et pas excessif pour raison économique).

Alors que le plan industriel et commercial s'appuie sur des périodes mensuelles, le PDP recourt à un échancier dont la période est généralement la semaine (ou même le jour). Son horizon total couvre *au*

moins le délai cumulé de tous les composants nécessaires à son élaboration. Il est, par exemple, de l'ordre de un an. C'est un calcul glissant de période en période.

4.2 L'échéancier du PDP

L'échéancier de chaque article géré au PDP (pensons aux produits finis pour simplifier) se présente sous la forme indiquée à la figure 7.26.

Figure 7.26 – Échéancier du PDP

St = 125 ; L = 100 ; D = 1 ; SS = 5 ; ZF = 3

		1	2	3	4	5	6	7
Prévisions de vente		5	20	30	40	45	50	50
Commandes fermes		35	20	15	5	2		
Disponible prévisionnel	120	80	40	95	50	3	53	3
PDP	(date de fin)			100			100	
Disponible	À vendre							
PDP	(date de début)		100			100		
		← ferme →			← libre = prévisionnel →			

Comme pour l'échéancier du calcul des besoins, les colonnes correspondent aux périodes successives à partir de la date actuelle. Les valeurs sont valables en début de période, sauf pour le *disponible prévisionnel* qui donne la valeur en fin de période. Le tableau rempli représente le PDP qui est établi en se plaçant au début de la première période indiquée.

En tête du tableau figurent les valeurs analogues au cas du calcul des besoins : *stock de départ (St)*, *taille de lot (L)* et *délai d'obtention (D)*. Deux autres valeurs complètent cet en-tête. D'une part, le *stock de sécurité (SS)*, destiné à assurer un bon service client malgré l'imprécision des prévisions commerciales. D'autre part, la limite de *zone ferme (ZF)* qui partage l'horizon de planification en deux zones, ce qui est illustré, dans le tableau, par la double barre verticale. À l'intérieur de

ZF, les ordres du PDP sont des *ordres fermes*, non modifiables par le système informatique, mais seulement par le gestionnaire du PDP (voir la définition donnée au paragraphe 2.4, « Les différents types d'ordre ») alors qu'au-delà de ZF, des *ordres proposés* sont placés comme dans un calcul des besoins. Le rôle de la limite ZF est naturellement de stabiliser le PDP et de lui éviter une trop grande *nervosité*. En effet, sa modification permanente entraînerait une remise en cause constante des ordres, des ruptures, car les composants du produit fini n'auraient pas été prévus, mais aussi une efficacité bien faible de la production et un service client de mauvaise qualité. Des modifications peuvent être envisagées dans la zone ferme. Cependant, ces modifications exceptionnelles doivent être placées sous la responsabilité du gestionnaire qui prend l'accord de la production. Et, bien sûr, l'entreprise cherchera à réduire la taille de cette zone ferme en maîtrisant et en diminuant les délais de production.

Les lignes du tableau donnent, successivement :

- Les *prévisions de ventes (PV)* qui constituent une double répartition des prévisions globales antérieures du PIC, d'une part, entre tous les produits de la famille et, d'autre part, sur les périodes du PDP composant celle du PIC.
- Les *commandes fermes (CF)* enregistrées par l'entreprise pour les périodes à venir. Il est bien évident que ces commandes sont connues pour les périodes proches de la date actuelle et qu'il y en a habituellement de moins en moins pour des périodes plus lointaines. Toutes ces *commandes fermes consomment les prévisions de vente*, c'est-à-dire que l'entrée d'une valeur *C* dans la ligne des commandes retranche *C* à la ligne des prévisions. La valeur qui reste dans la ligne « Prévisions de vente » correspond aux commandes que l'entreprise a encore prévu de recevoir. Si la somme des commandes dépasse la prévision correspondante, une valeur négative apparaîtra dans la première ligne. Le signe « moins » n'aura pas d'autre but que de souligner ce dépassement et faire remarquer que l'entreprise ne s'attend pas à d'autres commandes puisque les commandes acceptées sont déjà supérieures aux prévisions.

- Le *disponible prévisionnel (DP)* est le stock réel auquel on retranche le stock de sécurité. Tout passage à zéro signifie donc un besoin de recomplètement en produit, mais il en reste encore, physiquement, la valeur du stock de sécurité.
- Les *ordres du PDP*, pour lesquels la ligne « date de fin » traduit une quantité disponible en début de période. Comme indiqué un peu plus haut à propos de la limite de zone de ferme, il s'agit d'ordres fermes avant cette limite et, normalement, d'ordres proposés automatiquement par le système, au-delà.
- Le *disponible à vendre (DAV)* qui donne le nombre de produits disponibles à la vente sans modifier le PDP.
- La ligne « début » des ordres du PDP indique la période du lancement, avec décalage dû au délai, et correspond donc à la tête du calcul des besoins. Cette ligne engendrera les besoins bruts des articles de niveau immédiatement inférieur au produit fini considéré.
- La ligne *Message* alertera le gestionnaire de toute anomalie. C'est notamment le moyen d'expression du système informatique à l'intérieur de la *zone ferme* où toute modification est réservée au gestionnaire.

4.3 Exemple de PDP

Le tableau 7.27 donne un exemple de PDP dont nous allons détailler le calcul.

Figure 7.27 – Exemple de PDP

$$St = 125 ; L = 100 ; D = 1 ; SS = 5 ; ZF = 4$$

		1	2	3	4	5	6	7
Prévisions de vente		5	20	30	40	45	50	50
Commandes fermes		35	20	15	5	2		
Disponible prévisionnel	120	80	40	95	50	3	53	3
PDP	(date de fin)			100			100	
Disponible	À vendre							
PDP)	(date de début)		100			100		

Les paramètres de gestion figurent en tête. Le besoin commercial est donné sur les deux premières lignes. On remarquera que les commandes déjà enregistrées décroissent vers le futur et que les commandes consomment les prévisions : dans la période 1, par exemple, les prévisions initiales étaient de 40 mais 35 produits ont été commandés et on prévoit encore 5 commandes.

Montrons le déroulement du calcul, en soulignant les différences par rapport à un Calcul des besoins. Rappelons-nous notamment l'existence d'ordres fermes dans la zone ferme, c'est-à-dire d'ordres déjà placés précédemment par le gestionnaire (ici, 100 produits sont prévus dans un ordre ferme avec date de début en période 2 pour date de fin en période 3).

$$DP0 = St - SS = 125 - 5 = 120$$

$$DP1 = DP0 - PV1 - CF1 = 120 - 5 - 35 = 80$$

$$DP2 = DP1 - PV2 - CF2 = 80 - 20 - 20 = 40$$

$$DP3 = DP2 + PDP3 - PV3 - CF3 = 40 + 100 - 30 - 15 = 95$$

$$DP4 = DP3 - PV4 - CF4 = 95 - 40 - 5 = 50$$

Si, dans une des périodes précédentes, le disponible prévisionnel était devenu négatif, il y aurait eu un message avec proposition de solution de placer un ordre, mais pas d'ordre proposé car nous sommes dans la zone ferme. Au contraire, au-delà de *ZF*, le calcul est analogue à un calcul des besoins :

$$DP5 = DP4 - PV5 - CF5 = 50 - 45 - 2 = 3$$

$$DP6 = DP5 - PV6 = 3 - 50 < 0$$

donc, ordre proposé $PDP6 = 100$

(avec début en $6 - D = 6 - 1 = 5$)

$$\text{et } DP6 = DP5 + PDP6 - PV6 = 3 + 100 - 50 = 53$$

etc.

Poursuivons le même exemple afin d'expliquer le calcul du *disponible à vendre* (tableau 7.28).

Figure 7.28 – Calcul du disponible à vendre (DAV)

$$St = 125 ; L = 100 ; D = 1 ; SS = 5 ; ZF = 4$$

		1	2	3	4	5	6	7
Prévisions de vente		5	20	30	40	45	50	50
Commandes fermes		35	20	15	5	2		
Disponible prévisionnel	120	80	40	95	50	3	53	3
PDP	(date de fin)			100			100	
Disponible	À vendre	70		78			100	
PDP	(date de début)		100			100		

Le *DAV* donne tout ce qui peut être encore promis à des clients. Une valeur est à donner *en première période*, puis chaque fois qu'il y a une nouvelle ressource, donc un *ordre en PDP Fin* : ici, en périodes 1, 3 et 6.

En période 1, le stock existant est de 125 (car tout le stock, y compris le stock de sécurité, peut être vendu... sinon à quoi servirait le stock de sécurité ?) ; or, tout ce qui est déjà promis à des clients jusqu'à la prochaine ressource (période 3) est de $35 + 20$.

$$DAV1 = St - CF1 - CF2 = 125 - 35 - 20 = 70$$

Remarquons que, s'il existait un ordre au PDP (ordre lancé figurant en PDP date de fin), il faudrait l'ajouter au stock.

Pour les périodes autres que la première, on ne doit tenir compte que des ressources PDP, car tout le disponible prévisionnel a pu être vendu (il est inclus dans le *DAV* précédent).

$$DAV3 = PDP3 - CF3 - CF4 - CF5 = 100 - 15 - 5 - 2 = 78$$

$$DAV6 = PDP6 = 100 \text{ puisqu'il n'y a plus de commandes.}$$

Remarques

Nous avons fixé ici des conventions simples pour illustrer, tout d'abord, la consommation des prévisions par les commandes. Nous avons également divisé l'horizon de planification en deux zones ; elles peuvent être au nombre de trois : zone gelée (modification exceptionnelle avec accord de la production), zone négociable (modification possible après vérification de disponibilité des composants et de la capacité) et zone libre.

4.4 Calcul des charges globales et réalisme du PDP

Le plan industriel et commercial a été établi en volume de production de familles de produits avant d'être validé par un calcul global de charge. Puis nous sommes passés au niveau des PDP et, là encore, les ordres de fabrication de produits finis ont été placés sans regarder, *a priori*, les conséquences en termes de charge. Dans le même esprit que celui du PIC, pour s'assurer du réalisme du PDP avant de le *valider*, un calcul de *charges globales* est effectué à partir de critères qui seront plus fins que ceux du PIC puisque étant caractéristiques de produits au lieu d'une famille. C'est ce PDP validé qui constitue le programme de référence pour réaliser l'explosion du calcul des besoins.

4.5 La mesure des performances du PDP

En décrivant les fonctions du PDP, nous avons dit qu'il concrétisait le plan industriel et commercial, c'est-à-dire qu'il traduisait en termes de produits finis le plan industriel de la famille de produits. Soyons plus clair encore : si une famille A comprend n produits finis A_i , cela signifie que le PIC de la famille A est éclaté en n PDP, chacun relatif à un produit A_i . Il est alors bien évident qu'il doit y avoir cohérence entre le PIC A et l'ensemble des PDP A_i . L'exercice de synthèse présenté en fin de chapitre aborde notamment cet aspect.

Par ailleurs, le PDP étant l'échéancier des quantités de produits finis destinés à satisfaire nos clients, il importe que les ordres mis au PDP fournissent à la date attendue les quantités prévues. En mettant en place des indicateurs simples, on pourra suivre cette réalisation et en déduire le réalisme de la planification à moyen terme et, en cas de problème, en chercher les causes afin d'y remédier.

5. Les charges détaillées

Le réalisme du PIC est vérifié par un calcul des charges globales permettant de les comparer aux capacités globales (§ 3.4, « Calcul global de charge au niveau du PIC »). Ensuite, pour la même raison, le PDP est validé par un calcul des charges (§ 4.4, « Calcul des charges globales et réalisme du PDP »). Au niveau du calcul des besoins nets, de même, il est nécessaire de calculer les charges afin de les comparer aux capacités disponibles. De plus, il est alors possible de les calculer en détail.

Ainsi, le calcul des charges détaillées a pour objectif de déterminer, de façon précise, l'échéancier des charges de chaque centre de charge de l'entreprise. Rappelons qu'un centre de charge peut être une machine, un groupe de machines, un opérateur, un atelier... Le but en est de détecter toute surcharge dès la planification, car elle conduirait à un problème lors de l'exécution.

Pour être efficace, le Calcul des charges détaillées doit porter sur tous les ordres qui vont apporter une charge : ordres lancés (par les opérations non encore exécutées), ordres planifiés fermes et ordres proposés.

Pour chaque ordre i , on connaît la quantité de l'article et la date de fin de l'ordre. La gamme associée donne l'échéancement des opérations avec, pour chaque opération, le centre de charge j concerné, les temps de changement de série ou préparation et le temps unitaire d'exécution. Il est donc aisé d'affecter les opérations exécutées sur chaque centre de charge dans la période concernée et d'effectuer le calcul de la charge résultante :

$$\text{Temps Prépa} + \text{Temps Exéc.} \times \text{Nombre (figure 7.29)}.$$

Figure 7.29
Charge d'un ordre de fabrication sur un centre de charge

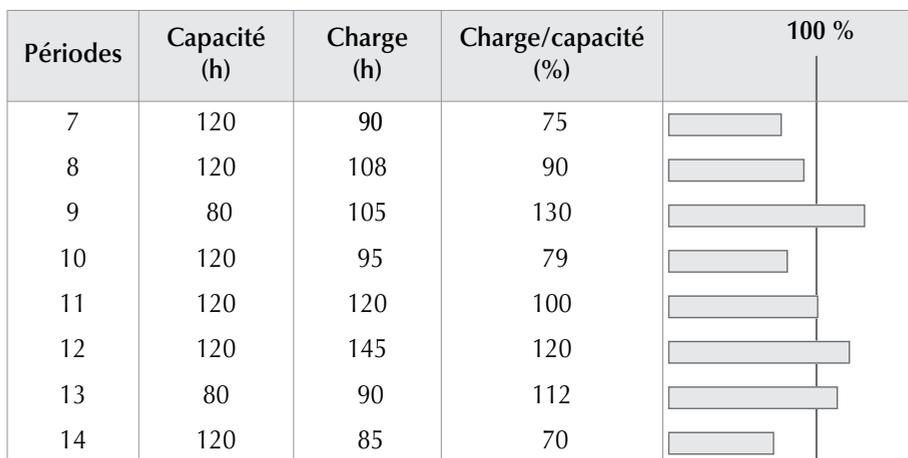
Temps de changement de série	: 0,5 h
Temps unitaire d'exécution	: 0,01 h
Nombre d'articles à produire	: 200
Charge induite	: $0,5 + 0,01 \times 200 = 2,5$ h

La charge du centre j sera la somme des charges apportées par tous les ordres i exécutés dans la période considérée (figure 7.30).

Figure 7.30 – Charge totale sur un centre de charge

Période 8		Centre de charge EX002
Ordre de fabrication	Opération	Charge (h)
OF 257	20	18
OF 278	30	12
OF 327	20	25
OF 352	40	11
TOTAL		66

L'échéancier des charges est souvent représenté sous la forme d'un *profil de charge* (figure 7.31).

Figure 7.31 – Profil de charge d'un centre de charge

Pour cette représentation, la charge de chaque période est calculée comme indiqué précédemment. Quant à la capacité, elle provient du fichier des centres de charge avec le calendrier associé (voir chapitre 6). Le diagramme illustre les rapports charge/capacité de chaque période et repère les écarts à la ligne charge = 100 % (capacité). Le schéma peut être dessiné avec l'axe des temps vertical comme sur la figure 7.31 ou horizontal comme dans l'exemple de synthèse décrit en fin de chapitre.

Le profil de charge est une représentation très visuelle qui permet de mettre clairement en évidence les périodes de surcharge et de sous-charge. Il est alors aisé d'anticiper les problèmes et de prendre les mesures appropriées pour lisser la charge en respectant les dates de besoin. En cas de surcharge, deux solutions extrêmes consistent à augmenter la capacité ou réduire la charge, et toute solution intermédiaire est envisageable. Voici quelques actions sur la capacité : machine de remplacement, machine supplémentaire, heures supplémentaires, transfert de personnel d'un autre atelier, équipe de week-end, sous-traitance... et quelques actions sur la charge : avancer certains ordres, retarder certaines opérations (retard récupérable sur des temps d'attente), fractionner des ordres... Dans le cas de sous-charge, les solutions opposées s'appliqueront. Remarquons que la solution industrielle à ces problèmes devra gérer, d'une part, les contraintes du service client et de respect de la date de besoin et, d'autre part, des aspects économiques de coût.

6. La gestion d'atelier

6.1 Définition

La planification à trois niveaux successifs (PIC, PDP et calcul des besoins), respectivement validés par les calculs de charges, a conduit à des *ordres proposés*. Le gestionnaire va maintenant devoir en lancer l'exécution, c'est-à-dire les transmettre à l'atelier pour réalisation. Le but de la gestion d'atelier est d'aider celui-ci à livrer les bons ordres de fabrication à la bonne date et notamment d'agir pour rendre disponible la capacité nécessaire.

Nous appellerons pilotage des activités de production (PAP) l'activité destinée à piloter l'exécution qui a été planifiée dans la partie supérieure de MRP2. Le mot pilotage est choisi volontairement pour souligner l'interactivité par opposition au mot traditionnel de suivi de production qui semble ne représenter qu'une course après la réalité sans souhait d'intervenir ! Nous allons, dans cette activité, passer de la planification à l'évolution des produits dans l'entreprise, jusqu'à la sortie des produits de l'atelier vers le magasin de stockage des « produits finis ». Parallèlement à cette évolution physique des produits, les *ordres de fabrication* (OF) vont évoluer selon leur état : ordre proposé, ordre lancé (ou ouvert, ou en cours), jusqu'à l'état ordre fermé.

Le PAP cherche à optimiser la relation entre les hommes, les machines, les stocks et les mouvements physiques (des matières premières aux produits finis) pour exécuter le PDP, contrôler les priorités, améliorer l'efficacité (productivité), minimiser les stocks, diminuer les en-cours et améliorer le service client.

Les ressources pilotées sont les suivantes : le personnel (heures supplémentaires, transferts entre centres de charges, emploi à temps partiel, multiples équipes...), l'outillage (équipements et appareils spéciaux pour préparer et exécuter les opérations), les machines (capacités disponibles pour absorber la charge) et les matériaux (stocks pour réaliser les OF).

6.2 Activités lors de l'exécution

Le PAP recouvre cinq principales activités lors de l'exécution.

6.2.1 Vérification et lancement

Ce sont les activités à mener avant de lancer l'ordre à l'atelier (documentation de l'ordre pour sa réalisation et son suivi, disponibilité des composants et matières premières nécessaires, disponibilité de la capacité et répartition de la charge).

6.2.2 Programmation détaillée

Elle donne le séquençement des ordres (liste de lancement et allocation des ressources), la disponibilité des ressources (avec notamment les maintenances programmées) et toutes autres affectations influant sur l'atelier (arrêts programmés, transferts de main-d'œuvre...). Le jalonnement des opérations détermine les dates de début et de fin de chacune des opérations nécessaires à l'exécution d'un ordre de fabrication (OF). Le point de départ du calcul est la date de fin de l'OF. Il prend en compte des informations issues des données techniques : gammes (temps de changement de série et temps d'exécution) et centres de charge (temps d'attente moyen devant le centre et temps de transit entre centres).

Une *liste de priorités* donne la séquence des ordres à exécuter. Elle est fondée sur une règle de priorité. Soulignons immédiatement qu'une règle de priorité doit être simple, facile à interpréter, en accord avec la planification, et surtout qu'elle n'est pas un substitut à la répartition des charges. Une surcharge de planification d'un atelier n'est en aucun cas soluble par des priorités ! Le tableau 7.32 rappelle quelques règles simples et bien connues déjà évoquées dans la gestion par la méthode Gantt.

On remarquera que certaines ne font pas référence à une date de fin (n^{os} 2, 3, 4) et que chacune avantage certains OF aux dépens des autres. Le tableau 7.33 donne un exemple d'utilisation de ces règles.

Figure 7.32 – Quelques règles de priorité des OF

N°	Règle	Explication
1	date de fin la plus proche	date fin– date actuelle
2	FIFO (<i>first in first out</i>)	priorité dans l'ordre d'arrivée
3	LIFO (<i>last in first out</i>)	priorité au dernier arrivé
4	marge minimale	(temps restant – temps opératoires restants) minimal
5	marge moyenne par opération minimale	marge /nombre d'opérations minimale
6	rapport critique (ratio critique)	temps restant /travail restant minimal

Exemple**Figure 7.33 – Exemple d'utilisation des règles de priorité**

Nous sommes le jour 50 devant le poste T907 et on dispose des informations indiquées ci-après. Quelle sera la séquence de passage sur le poste si on suit les règles de priorité ?

1. FIFO ;
2. date de fin la plus proche ;
3. plus court temps d'exécution ;
4. rapport critique ?

N° OF	Jour d'arrivée	Temps d'exécution (h)	Date de fin	Travail restant (j)
101	42	5	56	4
127	45	3	53	3
243	44	2	51	2
204	49	4	52	3
125	50	1	55	2

Réponses

1. 101 – 243 – 127 – 204 – 125
2. 243 – 204 – 127 – 125 – 101
3. 125 – 243 – 127 – 204 – 101
- 4.

N° OF	Temps restant	Travail restant	Rapport critique
101	$56 - 50 = 6$	4	1,5
127	$53 - 50 = 3$	3	1,0
243	$51 - 50 = 1$	2	0,5
204	$52 - 50 = 2$	3	0,7
125	$55 - 50 = 5$	2	2,5

donc liste de priorité : 243 – 204 – 127 – 101 – 125

On remarquera que l'OF 243, le plus prioritaire, ne sera pas terminé à la date de fin prévue puisque le travail restant est supérieur au temps restant.

6.2.3 Suivi de production

Le suivi de production a pour objectif de déterminer le niveau d'avancement des OF lancés : OF non encore démarré, partiellement terminé, terminé, quantité réalisée, rebutée, en reprise, temps réalisés... Le suivi est plus ou moins fin : il peut intéresser chaque opération ou au contraire ne contrôler que certains points de passage. L'évolution vers la Production au plus juste en raccourcissant les délais permet de simplifier le suivi et le CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) conduit à automatiser la prise d'information.

6.2.4 Contrôle et rétroaction

Il existe un flux bidirectionnel entre le système de planification et le système d'exécution (atelier). De la planification peuvent provenir des annulations d'ordres, additions d'ordres, une action corrective. Pour l'atelier, il s'agit d'un ajustement de capacité, de l'utilisation d'un poste de remplacement, de l'éclatement d'un ordre ou d'une opération, d'un chevauchement d'opérations, de sous-traitance... (figure 7.34). Si l'écart entre le programme prévu et sa réalisation est trop important, le

retour vers la planification pourra se faire sous la forme d'un *rapport d'exception* qui permettra au gestionnaire de production de prendre des décisions importantes comme un changement de date de fin, une modification de la quantité de l'ordre ou même une annulation d'ordre... sans toutefois oublier la date de besoin et la satisfaction du client !

Figure 7.34 – Techniques de réduction des délais

	Opérations	Déroulement du temps						
		1	2	3	4	5	6	7
Ordre normal	1	█						
	2				█			
	3						█	
Éclatement d'ordre	1	█						
	2				█			
	3					█		
	2				█			
	3						█	
Éclatement d'opération	1	█						
	1	█						
	2			█				
	3					█		
Chevauchement	1	█						
	2		█					
	3				█			

6.2.5 Fermeture de l'ordre

C'est la dernière activité du pilotage des activités de production, et elle est importante. Elle a deux objectifs : libérer l'atelier de sa responsabilité au sujet de l'ordre et donner les informations finales concernant cet ordre. Notamment, c'est le moment d'effectuer le bilan des produits classés bons, rebutés ou à reprendre (récupération).

6.3 Conditions de bon fonctionnement

Soulignons maintenant les conditions de bon fonctionnement du PAP que nous allons répartir en cinq points.

6.3.1 Principes de base

L'exécution doit être réalisée selon la planification établie ; on déterminera à ce niveau la priorité des opérations et non celle des ordres (celle-ci provenant des dates de fin du calcul des besoins). Il s'agit enfin de gérer les ressources de l'atelier et non pas de les acquérir (un achat de machine ou une embauche de personnel ne se décide pas à ce niveau !). Le tableau 7.35 résume de quelle manière le PAP acquiert les informations fondamentales nécessaires.

Figure 7.35
Les informations du pilotage des activités de la production

	Calcul des besoins	Autres sources
Quoi ?	code article	
Quand ?	date de fin	
Combien ?	quantité	
Où ?		fichier centres de charge
Comment ?		fichier gamme

6.3.2 Qualités du système de planification

Il doit présenter les quatre qualités suivantes :

- être *complet et intégré* (planification à trois niveaux décrite précédemment avec PIC, PDP et calcul des besoins nets validés, selon le cas, par un calcul de charges globales ou détaillées) ;
- *formel* (c'est-à-dire que le système de planification doit être la seule entrée dans le PAP) ;
- *valide* (c'est-à-dire conforme aux objectifs programmés) ;
- *réaliste* (c'est-à-dire réalisable avec les ressources disponibles).

6.3.3 La base de données

Elle peut être centralisée ou répartie, mais elle doit être *unique*. Comme cela a été souligné dans le chapitre 6, les données doivent être précises (nomenclatures > 98 %, stocks > 95 %...), complètes (outillages, temps...), clairement définies (centres de charge, gammes...) et surtout accessibles par le système du PAP.

6.3.4 L'interface

L'interface entre le système de *planification* et le système de pilotage des activités de *production* doit être *formelle*. Par exemple, de la planification (vers le PAP) proviennent date de besoin, quantité de l'ordre, date de début... conduisant au calcul des priorités, et du PAP vers la planification circulent des informations sur les arrêts machines, les rebuts excessifs... induisant des délais.

6.4 La mesure de performance

Là comme ailleurs, cette mesure indiquera si les engagements sont tenus ou si des actions correctives doivent être menées. L'objectif de l'atelier est de respecter les dates de fin d'opérations ou d'OF. Les seules qui comptent pour le service client sont les dates de fin d'OF. Un indicateur simple permet de mesurer cette performance :

$$\frac{\text{Nombre d'OF avec date de fin dans la période et terminés dans la période}}{\text{Nombre total d'OF avec date de fin dans la période}}$$

Une fonction souvent mal remplie est le retour d'information depuis l'atelier. Lorsqu'un retard est prévisible ou constaté au niveau de l'atelier, celui-ci doit avertir le gestionnaire ou l'atelier client de façon à pouvoir mesurer les conséquences de ce retard et prendre les mesures adéquates.

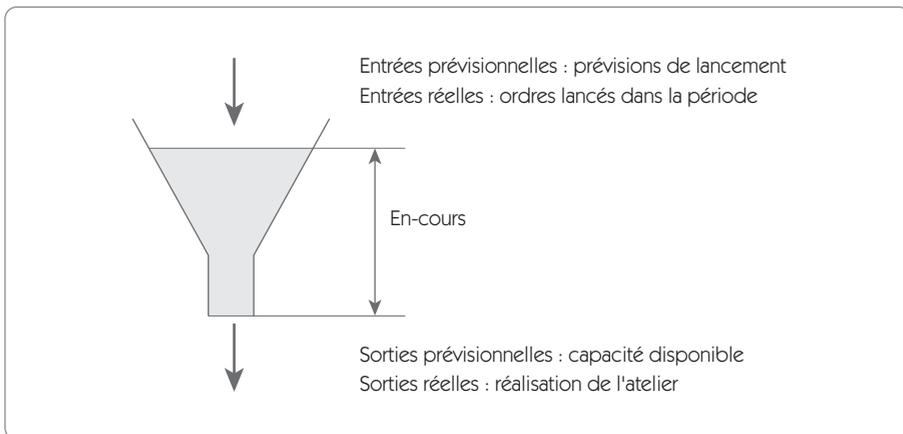
6.5 Le suivi des flux

Le suivi des flux de charge est relativement méconnu en France. Il constitue pourtant une aide précieuse au pilotage de la production. Le principe en est très simple puisqu'il s'agit de mesurer et contrôler le

flux physique qui passe à travers un centre de charge (ou un atelier) pour une période donnée. Ce pilotage est évidemment le plus utile pour un poste goulet.

Un centre de charge peut être représenté d'une manière schématique par un entonnoir : les ordres de fabrication entrent, les réalisations sortent et le contenu de l'entonnoir représente le travail lancé mais en attente (figure 7.36).

Figure 7.36 – Principe du suivi de charge en atelier



Dans la période considérée, *entrées et sorties* sont d'une part *prévisionnelles*, c'est-à-dire programmées, et d'autre part *réelles*, c'est-à-dire constatées. Chaque fois que l'en-cours se situe en dehors d'une fourchette prédéfinie, il faut agir sur la sortie (de la responsabilité de l'atelier) et /ou sur l'entrée (responsabilité du gestionnaire). La figure 7.37 illustre un suivi de flux de charge. La partie gauche du tableau (S-3, S-2 et S-1) correspond au passé où les valeurs prévisionnelles et réelles sont connues. La partie droite au contraire ne correspond qu'à des prévisions.

Figure 7.37 – Exemple de suivi de flux de charge

Centre de charge : XYZ

Unité : heures /semaine

Semaine		S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3
Entrées	prévisionnelles	80	80	80	75	75	75	80
	réelles	78	82	80				
Sorties	prévisionnelles	80	80	80	77	77	80	80
	réelles	74	76	75				
En-cours	prévisionnel	60	64	70	73	71	66	66
	réel	60	64	70	75			
Objectif d'en-cours = 60 h ± 10 h								

Analyse du flux de charge

Durant les trois semaines dernières, les entrées réelles ont été conformes aux prévisions (80 en moyenne). En revanche, les sorties réelles sont en moyenne inférieures de 5 h par semaine. L'atelier va remédier au problème pour retrouver son niveau normal de sortie : deux semaines transitoires à 77 h, avant de retrouver la capacité normale de 80 h. Pendant trois semaines, le gestionnaire lance moins de travail qu'habituellement sur ce centre, afin de ne pas créer d'en-cours inutiles, et il prévoit de retrouver un en-cours compris entre 50 et 70 h (objectif) dans deux semaines.

7. 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.

7.1 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 pré-

visions 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.

7.2 Charges globales au niveau du PIC

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 PIC est-il réaliste ?

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

7.3 Programme directeur de production

La famille A est composée de 3 produits finis A_1 , A_2 et A_3 . Il faut donc établir 3 PDP, un pour chaque produit fini. Supposons que la période du PDP soit la semaine alors que celle du PIC 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 A_1 sur un horizon de 8 semaines est représenté sur la figure 7.39. 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 ».

Figure 7.39 – PDP de l'article A₁

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

	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									

7.4 Cohérence entre PIC et PDP

Supposons maintenant que les trois PDP des produits finis A_1 , A_2 et A_3 soient établis. Ils sont donnés dans le tableau 7.40 pour le mois de mai. Étudions la cohérence entre le PIC de la famille A et les PDP des produits A_1 , A_2 et A_3 composant la famille A.

Figure 7.40
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 ₁ (fin)	450	0	450	300
PDP A ₂ (fin)	1 000	1 200	1 100	1 000
PDP A ₃ (fin)	300	900	0	750

La quantité totale des produits A_i pour les 4 semaines de mai est de 7450. L'écart entre PIC 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 %).

7.5 Charges globales au niveau des PDP

Dans l'atelier d'assemblage, un opérateur réalise 75 produits par semaine s'ils sont de type A_1 , 100 produits A_2 et 150 produits A_3 . Les PDP établis au précédent § 7.4 sont-ils réalistes ?

Le tableau 7.41 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.

Figure 7.41 – Étude du réalisme des PDP

	mois de mai			
	semaine 18	semaine 19	semaine 20	semaine 21
A_1	6	0	6	4
A_2	10	12	11	10
A_3	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 A_3 pour la semaine 20 et 600 pour la semaine 21. Le tableau 7.42 illustre cette solution. Remarquons que la répartition 150 + 600 produits A_3 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 !

Figure 7.42

Lissage de la charge globale par modification du PDP A_3

	mois de mai			
	semaine 18	semaine 19	semaine 20	semaine 21
A_1	6	0	6	4
A_2	10	12	11	10
A_3	2	6	1	4
Total	18	18	18	18

7.6 Calcul des besoins nets

L'article A_1 est composé (entre autres) de 2 vis $V55$ spéciales fabriquées par l'entreprise. Elles sont spécifiques de A_1 . 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 $V55$ (tableau 7.43).

Figure 7.43 – Calcul des besoins de l'article 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 » de la figure 7.42 (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 première période.

7.7 Calcul des charges détaillées

La gamme de fabrication de l'article $V55$ est donnée dans le tableau 7.44. Effectuons le calcul de la charge induite par le programme prévisionnel de production de cet article sur le centre de charge $REC5$.

Figure 7.44 – Gamme de l'article V55

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 :

$$1 + 0,02 \times 1\,000 = 21\text{ h}$$

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*.

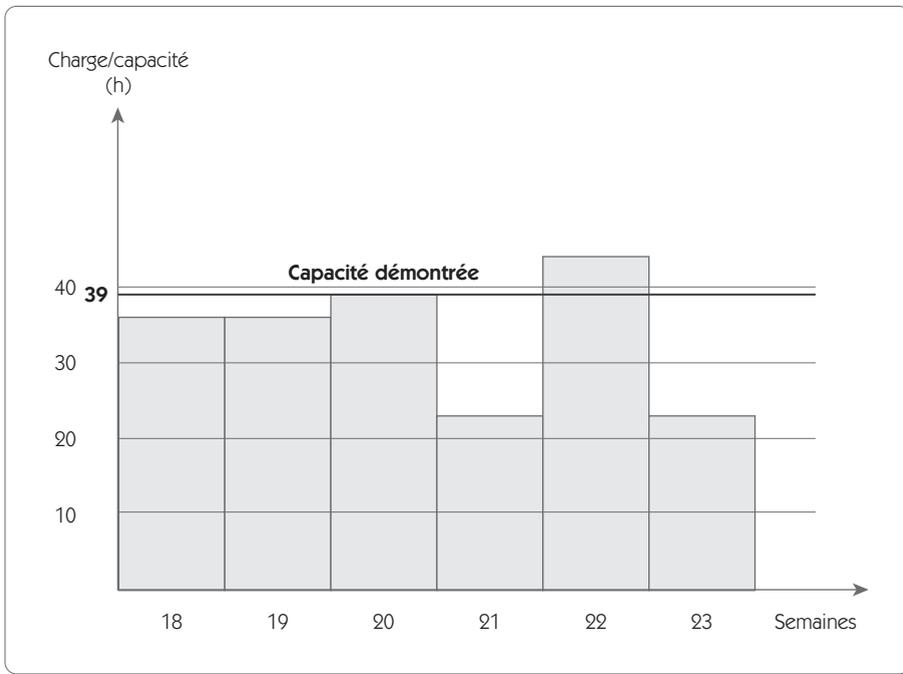
Figure 7.45 – Charge sur le centre de charge REC5

	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 : $40 \times 0,975 = 39 \text{ h}$ par semaine. Le profil de charge est réalisé sur la figure 7.46.

Figure 7.46 – Profil de charge du centre de charge REC5



Nous constatons une surcharge de $44 - 39 = 5 \text{ h}$ en semaine 22 et une disponibilité de capacité en semaine 21 de $39 - 23 = 16 \text{ h}$. La 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 $1 + 0,02 \times 750 = 16 \text{ h}$ 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 7.47.

Figure 7.47 – Charge sur le centre de charge REC5 après lissage

	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.

8. Régulation de MRP2

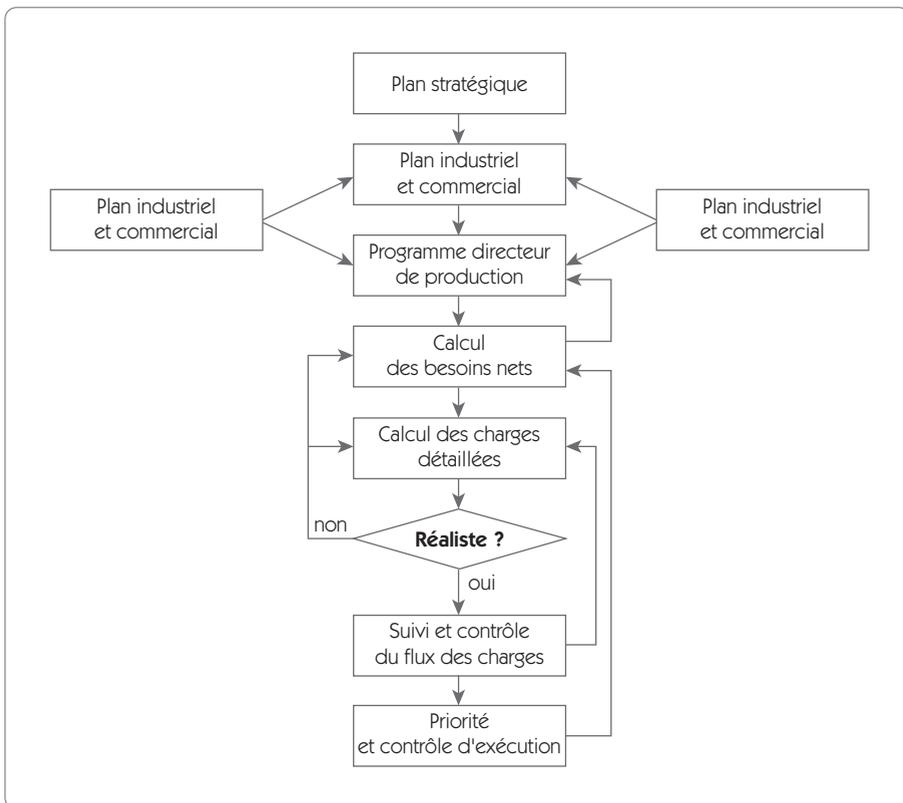
Dans ce chapitre, nous avons présenté les divers niveaux de planification et de gestion d'atelier constituant le management des ressources de la production. Nous avons notamment montré leur enchaînement depuis le domaine stratégique jusqu'à celui de l'atelier. Nous avons à plusieurs reprises souligné la nécessité d'un *réalisme* dans la mise en œuvre à tous les niveaux.

Pour y parvenir le système comporte *trois boucles fonctionnelles de régulation* schématisées sur la figure 7.48 et décrites ci-après.

Parmi ces trois boucles :

- La première concerne les *délais*. Elle est double et relie les résultats de la planification des capacités aux deux niveaux constitués par le calcul des besoins nets et le programme directeur de production.
- La deuxième suit les *charges et capacités*. Elle connecte le lancement des ordres à la planification des capacités par le suivi du flux des charges.
- La troisième, enfin, traite des *priorités*. Elle est située entre, d'une part, l'ordonnancement et le suivi à court terme et, d'autre part, le calcul des besoins.

Figure 7.48 – Schéma de MRP2 avec les boucles de régulation



9. Conclusions

Le management des ressources de la production est donc une méthode de planification de l'ensemble des ressources d'une entreprise industrielle. Cette méthode comprend trois niveaux de planification, avec détail de plus en plus fin depuis le plan industriel et commercial, en passant par le programme directeur de la production vers le calcul des besoins nets. Cette planification prépare l'exécution.

La planification est fondée sur une prévision de la demande, indispensable quelle que soit la typologie de vente (sur stock, assemblage à la commande ou production à la commande) de l'entreprise, mais de nature différente selon le cas.

L'évaluation des besoins est à tous les niveaux calculée à capacité infinie mais doit toujours être validée par un calcul de charge. Il faut surtout s'attacher à une bonne planification de « tête » (PIC puis PDP), réaliste, pour bénéficier d'un calcul des besoins utile, conduisant à une exécution ainsi facilitée. Nous avons également mentionné la régulation par des boucles de rétroaction.

Que devient MRP2 dans l'optique de la production au plus juste ? Il est utopique de vouloir faire réagir toute l'industrie instantanément à la moindre demande du client final créant le besoin indépendant d'Orlicky. Quelle que soit la typologie de vente de l'entreprise, nous retombons sur les incontournables prévisions commerciales permettant une planification des ressources de l'entreprise en stocks, machines, main-d'œuvre avec évaluation des charges et des capacités. Les Japonais, maîtres dans l'art du juste-à-temps, estiment qu'il faudrait anticiper à dix ans, mais que devant la difficulté ils se contentent d'évaluer jusqu'à cinq ans. Évidemment, il s'agit ici de la « tête » de MRP2 (PIC) et à plus court terme du programme directeur de production. Il faut souligner l'évolution fondamentale de la méthode dans le cas d'une exécution *au plus juste* : la *planification* ne donne qu'une *enveloppe* estimée au niveau du PIC, puis affinée d'une manière plus solide à plus court terme dans les PDP. *L'exécution*, quant à elle, n'est plus réalisée sur la base d'une programmation poussée par la planification, mais seulement *tirée* par l'aval. On remarque le lien étroit et indispensable entre planification et exécution, ainsi que le besoin de flexibilité permettant de réagir en temps réel.

Ce chapitre nous a permis de développer la base d'une planification solide de la production. Nous avons, dans le dernier paragraphe, évoqué l'évolution vers l'*excellence* en citant l'approche juste-à-temps et *Lean Production* que nous développerons au chapitre 10. Nous allons dès le prochain chapitre présenter la méthode la plus connue du JAT, la méthode Kanban, méthode de gestion d'atelier qu'il ne faut pas confondre avec le JAT lui-même.

Chapitre 8

La méthode Kanban : du Kanban spécifique au Kanban générique

1. Introduction

Parmi les différents outils de la gestion de la production des systèmes industriels, le Kanban occupe une place toute particulière par le compromis idéal qu'il offre du fait de la simplicité de son concept et de son efficacité. Cependant, malgré cette simplicité, il requiert un certain nombre de conditions pour être mis en place efficacement.

Kanban est un mot japonais du vocabulaire courant qui signifie étiquette, enseigne. La méthode Kanban, quant à elle, a au départ fondé tout son fonctionnement sur la circulation d'étiquettes.

Elle s'est développée au Japon après la Seconde Guerre mondiale. Elle a été élaborée par M. Ohno dans l'entreprise Toyota Motor Company et, dès 1958, certaines lignes de production de Toyota MC ont parfaitement bien fonctionné en Kanban.

C'est en cette période que M. Ohno constate que « les gens des usines ont toujours tendance à faire de la surproduction » et cherche le moyen qui permette de produire :

- le produit demandé, et pas un autre ;
- au moment où il est demandé (ni avant ni après) ;
- dans la quantité demandée (ni plus ni moins).

Dans un atelier de production, cela se traduit par le fait qu'un poste amont ne doit produire que ce qui lui est demandé par son poste aval qui ne doit lui-même produire que ce qui lui est demandé par son propre poste aval, et ainsi de suite... Le poste le plus en aval ne devant produire que pour répondre à la demande des clients.

Il fallait donc trouver *un système d'information* qui fasse remonter rapidement les besoins de l'aval vers l'amont. Ce système existe et porte le nom de *méthode Kanban*.

Comme nous le montrerons par la suite, le Kanban est avant tout un système d'information et une méthode d'organisation et de gestion de l'atelier qui n'intègre en aucun cas des éléments de gestion industrielle globale, la planification par exemple.

On trouvait un système relativement similaire en Europe dans les pharmacies pour permettre le complètement automatique des stocks. Sur chaque boîte de médicament, on plaçait une petite étiquette. Chaque fois qu'une boîte était vendue, on plaçait l'étiquette dans un récipient, et, le soir, il suffisait de passer une commande de chaque étiquette pour reconstituer le stock.

Les étiquettes commandées étaient alors placées dans un récipient en attente de réception. Lorsque la commande arrivait, on plaçait à nouveau l'étiquette sur la boîte.

Ce système très simple permettait de savoir ce qu'il fallait commander (les étiquettes du premier récipient) et ce qui était en attente de livraison (les étiquettes contenues dans le second récipient) sans aucune écriture ni enregistrement. C'est un peu le principe se lequel repose le Kanban.

Nous allons décrire dans ce chapitre les trois principaux types de Kanban que l'on rencontre dans l'industrie : le Kanban spécifique, le CONWIP et le Kanban générique.

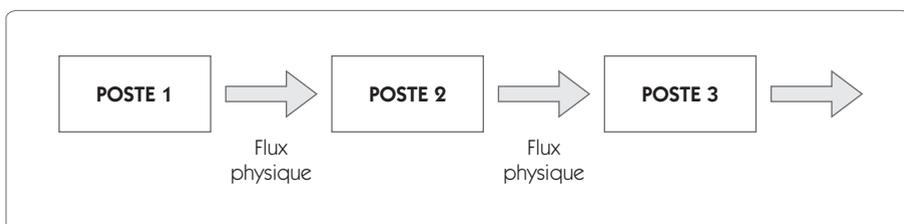
2. La méthode du Kanban spécifique

Elle est excessivement simple aussi bien de fonctionnement que de compréhension, mais il ne faut pas se méprendre : les conditions de réussite de la mise en œuvre du Kanban spécifique comme du Kanban générique sont nombreuses et difficiles.

2.1 Description d'un système Kanban spécifique

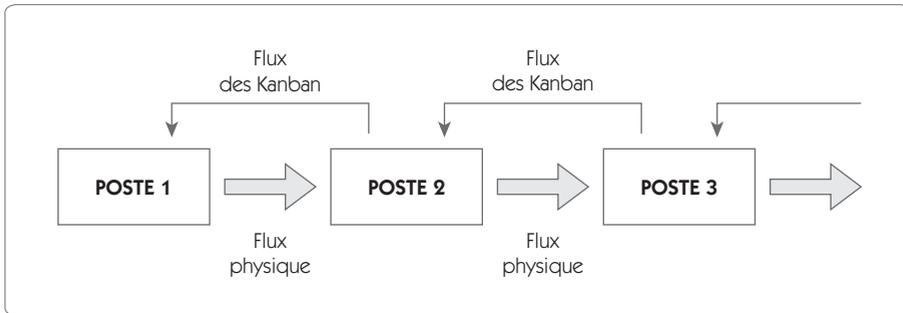
Supposons un atelier de production où les postes de travail sont positionnés les uns à la suite des autres et où le flux de production circule de gauche à droite en passant sur un poste puis sur l'autre... (figure 8.1)

Figure 8.1 – Ligne de production



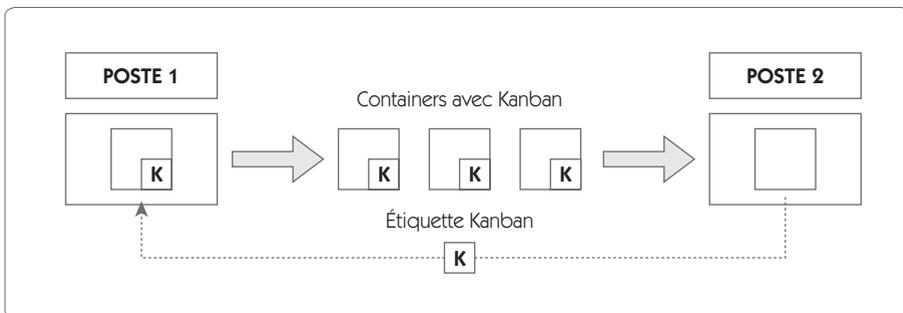
On peut dire de manière simple que la méthode Kanban spécifique va consister à superposer au flux physique de produits un flux inverse d'informations (figure 8.2).

Figure 8.2 – Flux des Kanban



Dans le détail, si l'on observe ce qui se passe entre deux postes de travail consécutifs, on peut observer la situation illustrée sur la figure 8.3.

Figure 8.3 – Circulation des étiquettes Kanban



- Le poste n° 2 consomme des pièces usinées par le poste n° 1. Chaque fois qu'il utilise un conteneur de pièces, il détache de celui-ci une étiquette appelée Kanban qu'il renvoie au poste n° 1. Cette étiquette constitue pour le poste n° 1 un ordre de fabrication d'un conteneur de pièces.
- Quand le poste n° 1 a terminé la fabrication du conteneur, il attache à celui-ci le Kanban. Le conteneur est alors acheminé vers le poste n° 2.
- Entre deux postes de travail, circule un nombre défini de Kanban (donc de containers).

Les Kanban sont donc :

- soit attachés à des containers en attente d'utilisation devant le poste n° 2 ;
- soit sur un planning à Kanban au poste n° 1 en attente d'usinage de pièces.

S'il n'y a pas de Kanban sur le planning du poste n° 1, cela signifie que tous les Kanban sont attachés à des containers en attente de consommation devant le poste n° 2. Le poste n° 2 est donc très bien approvisionné et le poste n° 1 ne doit pas produire !

La règle de gestion au niveau d'un poste est donc simple :

Il y a des étiquettes Kanban sur le planning de mon poste, je produis ; il n'y en a pas, je ne dois pas produire !

Les mises en fabrication de l'amont sont donc directement pilotées par les besoins de l'aval : on fonctionne en flux tiré.

Le système que nous venons de décrire se reproduit entre tous les postes d'un même atelier, pris deux à deux. Un Kanban particulier ne circule qu'entre deux postes de travail. Il apparaît donc sur le Kanban l'adresse du poste amont et l'adresse du poste aval entre lesquels il circule.

2.2 La gestion des priorités en Kanban spécifique

On peut remarquer qu'un poste amont fournisseur réalise la plupart du temps plusieurs types de produits pour le ou les postes aval clients. On dit qu'en général, il ne doit pas en fabriquer *plus de dix différents* car, au-delà, cela devient ingérable.

Si on souhaite mettre en Kanban spécifique ce type de situation, il faut commencer par standardiser les produits qui passent entre le fournisseur et le client (travail avec le bureau d'études) et descendre à moins de dix composants différents. Sinon, on pourra appliquer la méthode du Kanban générique dont on parlera à la prochaine section 3.

Si, pour différentes raisons, on n'y parvient pas, le Kanban ne doit pas être appliqué ; il est préférable de rester dans un système de gestion de la ligne de production par ordres de fabrication.

Pour que le poste fournisseur puisse répondre correctement aux besoins de son ou ses clients, il devra gérer correctement ses priorités.

Quand le planning Kanban d'un poste de travail comporte plusieurs types de Kanban, le principal problème de l'opérateur consiste à choisir le type de pièces à fabriquer en priorité.

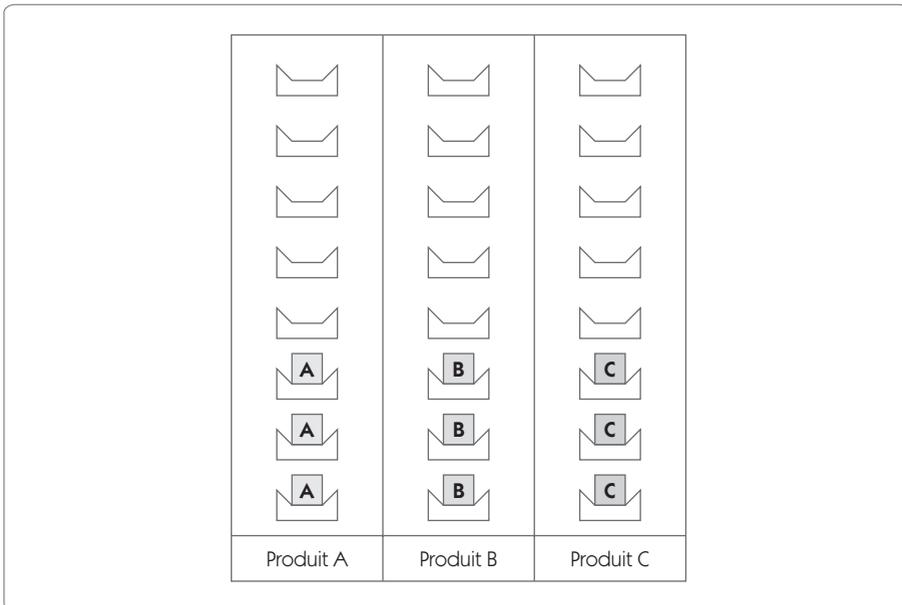
Supposons qu'un poste de travail fabrique 3 types de pièces :

- Référence A : 8 Kanban en circulation.
- Référence B : 5 Kanban en circulation.
- Référence C : 3 Kanban en circulation.

Cas n° 1 : il n'y a aucun Kanban sur le planning ; l'opérateur du poste ne doit donc pas produire !

Cas n° 2 : le planning a la physionomie de la figure 8.4.

Figure 8.4 – Planning sans priorité



Le nombre de Kanban étant identique pour chaque produit, il est quasiment impossible de définir une priorité.

Si par contre, on sait que pour la pièce A, on a 8 Kanban en circulation et qu'on en a trois sur le planning, il y a donc 5 containers de pièces A stockées.

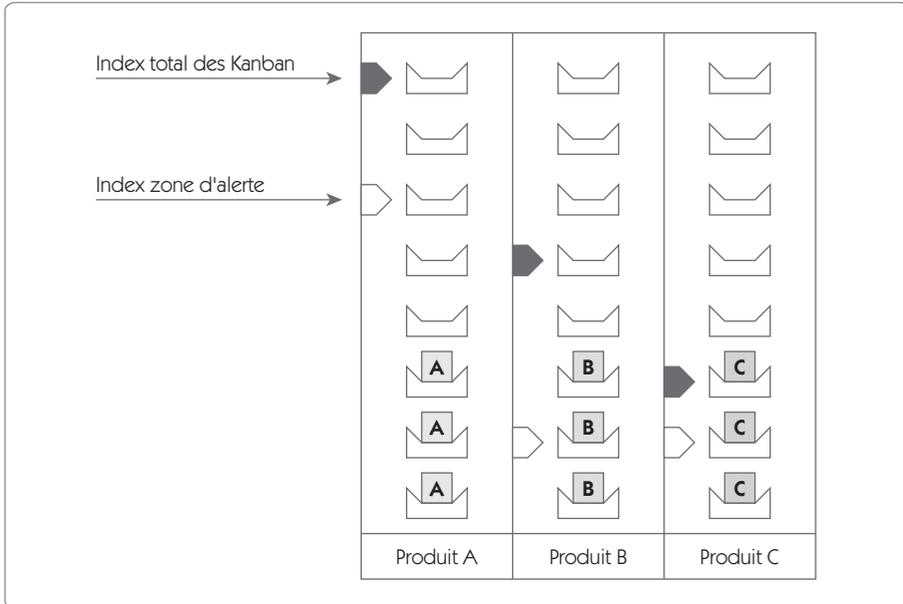
De même, on a $5 - 3 = 2$ containers de pièces B stockées et $3 - 3 = 0$ container de pièces C stockées.

Il est donc urgent de lancer la fabrication des pièces de référence C.

On tiendra ce raisonnement chaque fois qu'on voudra usiner un container de pièces et on choisira de lancer la production des pièces dont la quantité stockée est la plus faible. Mais, attention, cette démarche n'est possible que si le temps de changement de série sur le poste fournisseur est très court. Sinon, les temps de réglage vont terriblement perturber la production, on ne produira plus des pièces mais des réglages ! Si le temps de réglage est important sur le poste fournisseur, on choisira de produire par lot de 2 ou 3 ou davantage de Kanban, ce qui posera évidemment des problèmes de réactivité, mais permettra de « rentabiliser » les réglages ! Cela correspond à la notion de taille de lot minimale, telle qu'on peut l'observer en gestion des stocks traditionnelle.

Pour que l'opérateur puisse tenir ce type de raisonnement, il est nécessaire de faire apparaître sur le planning des index indiquant le total de chaque type de Kanban (figure 8.5).

Figure 8.6
Planning avec priorité déterminée par les deux index :
total des Kanban et zone d'alerte



Ce système se traduit par l'existence de stocks de sécurité qui sont là pour absorber les aléas divers qui peuvent se produire sur les postes de travail.

Dans notre exemple, cela donne :

- stock de sécurité de A = 2 containers ;
- stock de sécurité de B = 3 containers ;
- stock de sécurité de C = 1 container.

On choisira dans notre exemple de lancer la production des pièces dont la colonne de Kanban est la plus proche de l'index zone d'alerte, c'est-à-dire C.

Le système Kanban se rapproche donc de la méthode de gestion des stocks à point de commande. La différence réside surtout dans le délai de production matérialisé par l'index d'alerte. Dans une situation tradi-

tionnelle à point de commande, celui-ci représente souvent plusieurs semaines de production. En Kanban, l'index d'alerte ne représente que quelques heures.

2.3 Caractéristiques des étiquettes Kanban spécifiques

Le Kanban n'est autre que l'étiquette attachée à un container. Il se présente généralement sous la forme d'un rectangle de carton plastifié ou non de petite taille. Un certain nombre d'informations sont précisées sur un Kanban.

Ces informations varient beaucoup selon les entreprises, mais l'on retrouve des informations indispensables minimales sur tous les Kanban :

- la référence de la pièce fabriquée ;
- la capacité du container, et donc la quantité à produire ;
- l'adresse ou référence du poste amont fournisseur ;
- l'adresse ou référence du poste aval client.

Aujourd'hui, toutefois, nombre d'entreprises dotées de lignes de production appliquent les principes du Kanban sans étiquette.

2.4 Du Kanban spécifique à étiquettes au Kanban spécifique à emplacements

Bien des entreprises font preuve de beaucoup d'imagination et d'originalité en matière de création de lignes Kanban spécifiques. Une entreprise, par exemple, a remplacé les étiquettes Kanban par des balles de tennis de table colorées qui sont renvoyées très rapidement du poste client au poste fournisseur par des tuyaux à air comprimé. La couleur de la balle représente la référence ainsi que le nombre de pièces à fabriquer. La gestion des priorités est extrêmement simple : première balle arrivée, première balle traitée. C'est possible car l'entreprise a des temps de réglage extrêmement courts. On peut donc passer d'une couleur à l'autre, et donc d'une référence de pièces à l'autre, sans difficulté.

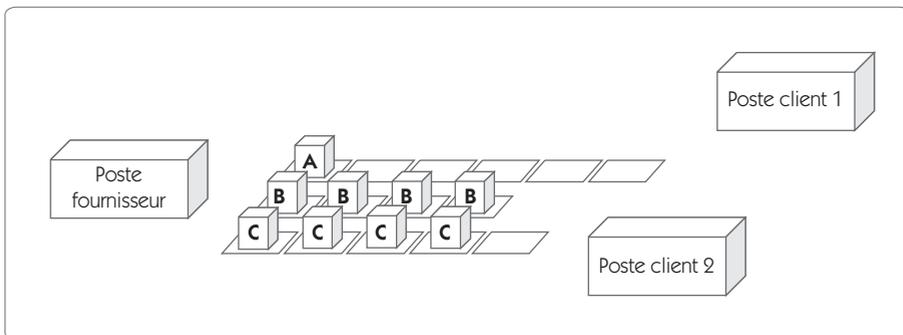
L'innovation la plus intéressante se situe cependant au niveau du Kanban spécifique par emplacements. Cela consiste à remplacer les étiquettes Kanban par des emplacements matérialisés au sol, situés géographiquement entre le poste fournisseur et son ou ses clients. Un emplacement accueille un container ou une caisse de produits. Le nombre d'emplacements de chaque type est déterminé par le fonctionnement du système (voir § précédent, 2.3). Si un ou plusieurs emplacements est ou sont vide(s), le fournisseur doit produire. Si tous les emplacements sont pleins, le fournisseur ne doit pas produire.

Ce système a de nombreux avantages :

- Il est très visuel, que l'on soit fournisseur ou client, il suffit de jeter un œil au niveau des emplacements pour savoir où l'on en est.
- Il n'y a pas de manipulations d'étiquettes (puisque'il n'y en a pas) ; on ne risque donc pas d'oublier de les retourner à son fournisseur. On ne risque pas non plus de les perdre, ce qui arrive parfois dans les entreprises.

La figure 8.7 nous montre un exemple d'application de ce principe.

Figure 8.7 – Exemple de Kanban à emplacements



Dans l'exemple de la figure 8.7, le poste fournisseur réalise 3 références de produits A, B, et C pour ses deux clients internes.

Les emplacements sont matérialisés physiquement entre le poste fournisseur et les postes clients. Il suffit de regarder les stocks pour observer qu'il y a :

- Un seul container de produits A disponible et 5 emplacements vides.
- Tous les emplacements de produits B sont pleins.
- Un seul emplacement de produits C est vide.

La priorité de production se situe donc au niveau du produit A.

Si l'on observe un peu mieux la figure 8.7, on s'aperçoit que les emplacements vides se situent à proximité des postes clients. En effet, pour des raisons de recherche de déplacement minimal, les clients ont tendance à utiliser les containers de pièces le plus proches d'eux, et les fournisseurs viennent positionner leurs productions au niveau de ces mêmes emplacements. Ce n'est donc pas du tout une logique de type FIFO (*First In First Out* : premier arrivé, premier utilisé) mais plutôt LIFO (*Last In First Out* : dernier arrivé, premier utilisé), ce qui signifie que les containers situés à proximité des postes fournisseurs, qui sont en général des stocks de sécurité, ne sont que peu ou pas utilisés. Cela peut se révéler problématique s'il s'agit de produits périssables, à corrosion rapide...

Pour pallier ce type de problèmes, il convient de réfléchir à des systèmes de plans inclinés munis de « rouleaux » de déplacements qui permettent aux containers de rouler jusqu'au point le plus proche des postes clients.

Pour des produits plus légers, le stockage peut se faire sur des stockeurs dynamiques, étagères en plan incliné sur lesquelles glissent les containers jusqu'au point d'utilisation, ce qui permet simplement une gestion FIFO (voir chapitre 5 – figure 5.22).

On remarquera que le Kanban spécifique par emplacement n'est pas aussi souple et flexible que le Kanban par étiquette. En effet, si la consommation varie, il est plus facile de changer le nombre d'étiquettes en circulation que de modifier le nombre d'emplacements.

2.5 Dimensionnement d'un système Kanban

2.5.1 À propos de la taille d'un container

Chaque container d'un même type de produits doit contenir le même nombre de produits conformes.

Pour déterminer la taille d'un container, il faut tout d'abord tenir compte des caractéristiques du produit (poids, volume...). Par ailleurs, la taille doit permettre d'assurer la fluidité de la production. On tient compte du délai de production et du délai de consommation des produits. On a coutume de dire que dans un container on doit trouver un nombre de pièces représentant *moins d'un dixième de la consommation journalière*, pour assurer une fluidité minimale.

Mais cette règle n'est pas obligatoire et ne s'adapte pas à toutes les situations. Il convient donc de tâtonner quelque temps, d'observer le fonctionnement du système dans différentes situations avant d'arrêter une décision. On peut remarquer que cette décision ne sera que temporaire puisqu'un système Kanban se doit d'être évolutif, d'être amélioré en permanence. Les améliorations apportées permettent au système d'être plus réactif et flexible, et cela permet de diminuer la taille des containers au fur et à mesure. L'objectif est de parvenir à la situation optimale, ce que les Anglo-Saxons appellent le système *one piece flow*, qui se traduit par une seule pièce dans le container. Mais, pour y parvenir, on doit fiabiliser presque totalement le système de fabrication, ce qui n'est pas facile !

2.5.2 À propos du nombre de Kanban

Les entreprises procèdent en général empiriquement, pas à pas, en mettant beaucoup de Kanban au début, puis en diminuant petit à petit le nombre jusqu'à ce que le flux casse.

Pour déterminer le nombre de Kanban, il n'existe pas de formule magique !

Le nombre de Kanban doit tout de même permettre de couvrir les aléas existant dans le système au moment où on met en place la méthode (réglages, pannes, non-qualité...), sinon le flux va casser en permanence et on ne produira que peu de pièces.

Le nombre de Kanban peut néanmoins être calculé grâce à la formule suivante :

$$N = \frac{DL + G}{C}$$

Où :

D : représente la consommation moyenne de produits par les clients par unité de temps ;

L : le délai de mise à disposition des produits ;

G : le facteur de gestion : facteur de couverture contre les aléas et les changements de séries ;

C : le nombre de pièces contenues dans un container.

Exemple

Imaginons un poste de production fonctionnant en Kanban avec ses fournisseurs pour lesquels il réalise des produits de deux types A et B.

Le poste fournisseur produit 50 produits de type A ou 100 produits de type B à chaque heure de production, ce qui correspond aux besoins des clients ($D = 50$ pour A et 100 pour B - $L = 1$).

Il requiert 2 heures à chaque réglage. Il peut tomber en panne et cela nécessite en moyenne une heure de remise en route à chaque fois ($G = 150$ pour A et 300 pour B).

Les containers des produits A et B sont de 100 pièces.

Nombre de Kanban

$$\text{pour A} = (50 \times 1 + (100 + 50))/100 = 2 \text{ Kanban}$$

Le facteur de gestion G sera égal à $100 + 50$ car on aura besoin de 100 pièces pour continuer à produire sur les postes clients pendant que le poste fournisseur effectue un réglage et, de la même manière, on aura besoin de 50 pièces supplémentaires pour absorber les arrêts liés au temps de remise en route après une panne.

Nombre de Kanban

$$\text{pour B} = (100 \times 1 + (200 + 100))/100 = 4 \text{ Kanban}$$

Attention, la formule de calcul du nombre de Kanban doit être considérée avec beaucoup de prudence. Le bon sens reste un élément essentiel dans la mise en place de ce type de méthode, dans son application et dans son évolution.

D'ailleurs, ainsi que le note S. Shingo dans son ouvrage *Maîtrise de la production et méthode Kanban*, « la façon de déterminer le nombre de Kanban n'est pas le plus important. Ce qui compte, c'est de se demander comment doit-on améliorer le système de production pour fixer un nombre de Kanban minimum ? »

La réponse à cette question comporte un certain nombre d'éléments, en particulier :

- la diminution des temps nécessaires aux changements d'outils ;
- la diminution des délais de production ;
- la diminution des pannes machines ;
- la diminution du nombre de pièces non conformes ;
- la suppression des stocks de sécurité que l'on garde généralement pour se protéger contre les aléas de production.

Tous ces éléments vont permettre de diminuer considérablement le délai de mise à disposition des containers.

Dans la formule de calcul du nombre de Kanban, le facteur de gestion sert à se protéger contre les aléas. Cela signifie que, si l'on parvenait à supprimer tous les aléas de la ligne et avec un temps de changement de série nul, le facteur G serait égal à 0 et le nombre de Kanban égal à 1. On aurait alors une totale flexibilité du système de production et on pourrait changer de production très fréquemment (vision utopique).

3. La méthode Kanban générique et CONWIP

La méthode CONWIP et le Kanban générique ont été créés pour pallier une insuffisance importante du Kanban spécifique : un nombre de produits et de composants réduits. Grâce au Kanban générique, on pourra gérer en Kanban autant de produits qu'on le souhaite ou presque...

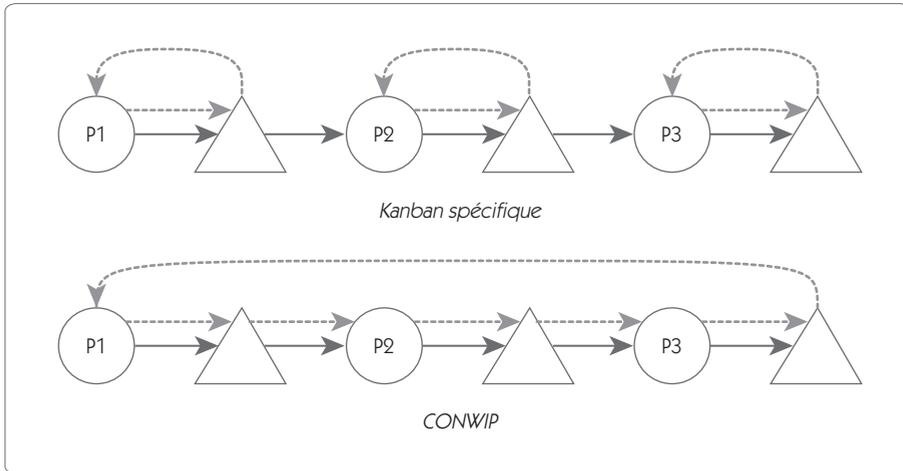
La méthode CONWIP (*Constant Work In Process*) est apparue comme étant une amélioration du Kanban dans le cas d'une ligne de production de produits très différents. En effet, si une ligne doit être capable de produire 50 types de produits différents, le système Kanban classique va générer des en-cours très importants entre les postes puisque les 50 produits devront être représentés. La méthode CONWIP permet de résoudre ce problème. Cependant, on verra qu'elle n'est pas optimale s'il existe de grandes variations dans les capacités de certains postes.

Le Kanban générique est une méthode plus aboutie permettant de faire un compromis entre l'approche CONWIP et le Kanban spécifique.

3.1 La méthode CONWIP

La figure 8.8 illustre la différence de circulation des flux physiques et des flux d'informations dans un Kanban spécifique et dans la méthode CONWIP.

Figure 8.8. – Kanban spécifique et CONWIP



Dans l'approche du Kanban spécifique, le flux est tiré par l'aval. Le poste P3 prélève dans l'en-cours P2 qui lui-même prélève dans l'en-cours P1 (figure 8.8). Supposons que cette ligne de production fabrique 5 types de produits A, B, C, D, E. La demande actuelle concerne surtout des produits A. Le Kanban va très bien gérer cette situation en remontant poste à poste l'information de la consommation d'un produit A.

Supposons maintenant que, brusquement, la demande de l'aval bascule vers le produit B. Comme on était en train de consommer du produit A, il faudra un certain temps pour remonter l'information de la consommation du produit B avant que le poste P1 ne commence à s'adapter à la nouvelle commande. Or, l'information du changement de demande étant disponible sur le poste aval, pourquoi ne pas répercuter au plus vite cette information ?

Un autre problème se pose avec le produit E qui n'est demandé que très rarement. Avec le Kanban spécifique, il faudrait maintenir à chaque en-cours un minimum de produit E pour pouvoir remonter l'information de la consommation de ce produit. Avec le système CONWIP, lorsqu'une demande de produit E est formulée, un Kanban est envoyé directement au poste P1 pour produire l'article E, qui sera ensuite poussé vers le poste P3 sans que cela ne nécessite d'en-cours.

Le problème majeur de ce système est la gestion des capacités. Supposons que le poste P2 soit un poste goulet. Si une demande forte apparaît en aval, on va générer de nombreux Kanban pour le poste P1. Les rythmes de production différents entre P1 et P2 vont créer un en-cours important entre ces deux postes, ce qui est évidemment contraire au but recherché.

La méthode du Kanban générique que nous décrivons ci-après (§3.2) permet de gérer efficacement tous ces problèmes.

3.2 Description d'un système Kanban générique

Le Kanban spécifique et le Kanban générique diffèrent principalement en ceci :

En Kanban spécifique, l'étiquette ou l'emplacement vide nous donne l'autorisation de produire et nous dit quelle référence produire.

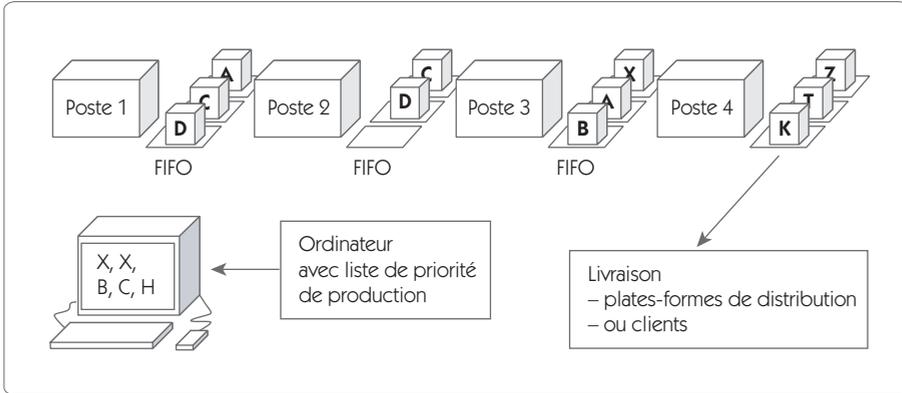
En Kanban générique, l'étiquette ou l'emplacement vide nous donne l'autorisation de produire et c'est tout !!! C'est le « programme client », matérialisé par exemple par un programme directeur de production, qui va nous dire quelle référence produire.

Considérons une ligne de production composée de plusieurs postes de production (figure 8.9).

Comme en Kanban spécifique, on aura plusieurs étiquettes ou plusieurs emplacements entre chaque poste de la ligne.

Comme en Kanban spécifique, c'est l'étiquette ou l'emplacement vide qui déclenchera l'ordre de produire pour le poste. Mais pour savoir ce qu'il doit produire, il regardera en amont et fera passer le premier produit arrivé antérieurement sur son poste. Chaque poste fonctionnera ainsi en FIFO et ce jusqu'au premier poste qui, lui, déclenchera la fabrication en fonction des informations données par son programme client.

Figure 8.9
Le Kanban générique : exemple de fonctionnement (instant t)

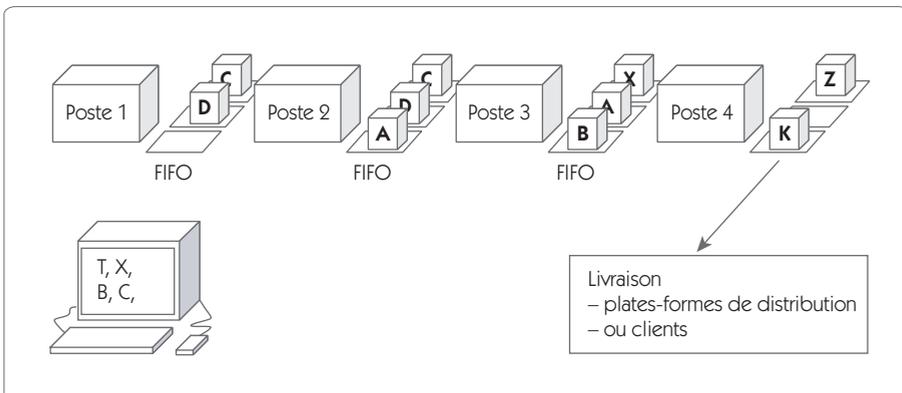


Si l'on observe la ligne de production à l'instant t , que relève-t-on ?

Le poste 2 a un emplacement vide, il peut donc produire. Un regard au niveau de son stock amont lui indique qu'il doit produire du A, et c'est ce qu'il fait.

Observons maintenant la ligne de production à l'instant $t + 1$ (figure 8.10).

Figure 8.10
Le Kanban générique : exemple de fonctionnement (instant $t + 1$)



Le poste 2 a libéré un emplacement pour le poste 1 qui peut donc produire. Le poste 1 est le premier poste sur la ligne de production, il n'a donc pas de stock amont pour savoir ce qu'il doit produire, mais il est doté d'un « programme client » informatique qui va lui indiquer les priorités de production (T dans l'exemple), et ainsi de suite...

Par ailleurs, un emplacement s'est libéré au niveau des produits finis, en aval du poste 4. Celui-ci va donc pouvoir produire un container de produits X et libérer un emplacement pour le poste 3 qui va donc produire un container de produits C, et ainsi de suite jusqu'au premier poste...

On voit bien sur cet exemple que le Kanban générique est un système de pilotage par l'aval dans lequel les priorités de production sont données par le premier poste, donc le « programme client ».

Le Kanban générique peut donc s'appliquer en théorie à toute typologie de production que la variété soit petite ou grande, que la répétitivité soit petite ou grande.

3.3 Intérêts de la mise en place d'un système Kanban générique

Le Kanban générique permet tout d'abord de simplifier le pilotage de l'atelier, et ce davantage encore qu'en Kanban spécifique. En effet, avec la règle du FIFO, les opérateurs n'ont plus qu'à être vigilants quant à la circulation des étiquettes ou l'apparition des emplacements vides. Ils savent ensuite ce qu'il faut produire sans avoir à choisir entre plusieurs postes. C'est donc un système de gestion très simple, mais on verra plus tard que la conception du système est complexe, tout comme peut l'être également la circulation des composants et des sous-ensembles en stock.

Le Kanban générique permet ensuite de mieux visualiser et clarifier les flux physiques. Les stocks étant limités par les étiquettes ou les emplacements entre les postes, on peut mieux observer les flux de production.

Le Kanban générique permet aussi d'éviter les engorgements du système qui se produisent en gestion d'atelier par *ordre de fabrication*, où on lance les ordres de fabrication sans se préoccuper des problèmes éventuels de postes situés plus en aval dans la ligne de production. En Kanban générique, le nombre d'emplacements ou d'étiquettes limité régule totalement le flux et peut aller jusqu'à l'arrêt de la production en cas de gros problèmes...

Le Kanban générique ressemble finalement beaucoup à une gestion par OF mais sans les OF et sans les inconvénients d'une gestion par OF. En revanche, un certain nombre d'inconvénients propres à la méthode limitent les expériences de mise en place du Kanban générique, comme nous allons le voir maintenant.

3.4 Limites de la mise en place d'un système Kanban générique

Le Kanban générique est proche d'une gestion par OF puisqu'il va bien souvent utiliser tant le calcul des besoins comme programme clients que les ordres proposés, suite au calcul des besoins, pour indiquer les priorités et les quantités à produire. Cela se traduit par la nécessité de faire converger au bon moment tous les composants et sous-ensembles nécessaires à la réalisation des produits, et ce sur tous les postes de la ligne Kanban en synchronisation totale avec les besoins. Cela fait étrangement penser à ce qui se passe sur les lignes d'assemblage automobiles, et on retrouve les mêmes problèmes. Ce point constitue sans doute la principale limite de ce système. En effet, plus il y aura de diversité sur une ligne, plus la mise en place d'un Kanban générique sera complexe sur cette ligne.

Le Kanban générique nécessite donc une étude longue, rigoureuse et précise, avant d'être mis en place, ce qui décourage parfois certains. Et c'est dommage car, une fois mis en place, c'est un système très simple et très performant.

4. Conditions de réussite de la mise en place d'un système Kanban, spécifique ou générique

Comme nous venons de le voir, cette méthode est excessivement simple à mettre en œuvre. Cependant, il ne faut pas oublier que l'utilisation d'un Kanban dans un atelier correspond à l'apparition d'un *système d'information qui va mettre en évidence, révéler*, la plupart des *problèmes* d'atelier. Pour gérer un flux de produits par la méthode Kanban, il faut générer une très grande fluidité de l'écoulement des produits. Loin de réguler les perturbations, le système Kanban, lorsqu'il est tendu, a plutôt tendance à amplifier leurs effets, contrairement aux stocks qui les amortissent. L'atelier ne pourra donc fonctionner que si les problèmes sont résolus, ou du moins s'ils le sont en partie.

Les actions à réaliser doivent être engagées pour une part avant et pour l'autre pendant la mise en œuvre de la méthode Kanban dans l'atelier. Ces actions sont une condition nécessaire à la réussite de l'installation du Kanban dans l'entreprise.

Les modifications qui doivent être apportées sont multiples et on peut remarquer que la démarche de progrès n'est pas la même dans toutes les entreprises. Certaines entreprises rencontreront des problèmes relatifs à leur implantation et devront travailler en priorité ce point là, d'autres ont des temps de réglage très longs et nuisibles au bon fonctionnement du Kanban.

La plupart des actions que l'entreprise doit entreprendre seront largement développées dans le chapitre 10 consacré à la *Lean Production*. On peut cependant déjà évoquer :

- La nécessité d'une bonne implantation des ateliers.
- La nécessité de réduire considérablement les temps de changements de série.
- La suppression des aléas (pannes, pièces non conformes...).
- Le développement de relations privilégiées, le véritable partenariat avec les fournisseurs internes et externes à l'entreprise.

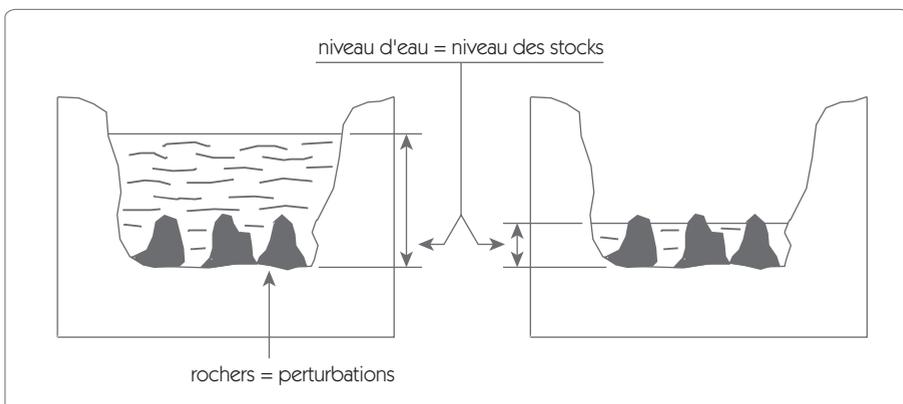
- La nécessité d'une importante polyvalence du personnel que l'on peut obtenir par la formation. On ne recherche plus seulement la productivité dans un atelier qui fonctionne en Kanban mais plutôt la qualité des produits, ce qui passe forcément par la responsabilisation du personnel. Ce personnel doit en outre être capable de changer de poste, de lancer des actions de réglage ou d'entretien. Cela est aujourd'hui très difficile à réaliser dans certaines entreprises, dont la culture ne permet pas toujours d'évoluer dans ce sens là.
- La nécessité de faire évoluer les produits et leurs composants. Pour simplifier la gestion du Kanban, il faut standardiser les composants et /ou les sous-ensembles du produit, ce qui permet de diminuer le nombre de références à gérer.

5. Mise en place d'un système Kanban

5.1 Avantages du système

Le premier avantage en est qu'il permet de *mettre en évidence les problèmes de l'atelier*. À ce propos, les Japonais utilisent l'image très révélatrice de la rivière :

Figure 8.11 – L'allégorie de la rivière



Quand il y a des perturbations dans le système, on a l'habitude d'augmenter le niveau des stocks pour améliorer le débit du flux de produits. Les Japonais expliquent qu'il vaut mieux diminuer le niveau des stocks, ce qui fait apparaître les perturbations que l'on peut alors mieux combattre (puisqu'on les connaît) afin d'améliorer par la suite le débit du flux de produits.

Cette méthode présente bien évidemment d'autres avantages plus concrets :

- Dans un atelier qui utilise la méthode Kanban, on peut souvent constater une circulation rapide de l'information entre les postes de travail concernant les problèmes machines, les pannes, les pièces défectueuses.
- On peut également observer le développement de la cohésion entre les postes de travail du fait de la très grande dépendance qui existe entre eux.
- Le service proposé au client s'améliore et se traduit par une meilleure fiabilité au niveau du respect des délais, de la qualité et des quantités. On peut livrer le client plus souvent et par petites quantités. L'objectif ultime du Kanban est de fabriquer et de livrer un petit peu de tout tous les jours.
- Le Kanban permet de décentraliser et de simplifier la gestion de production au sein de l'atelier. Il n'y a plus besoin d'ordres de fabrication, le système Kanban s'autogère grâce à la prise des décisions effectuée directement au niveau des opérateurs.
- Par ailleurs, il ne faut pas oublier qu'un des avantages principaux peut s'exprimer en termes de diminution des stocks ; cela produit généralement un dégagement de trésorerie, davantage de place dans les ateliers et les entrepôts, une plus grande facilité de gestion des stocks, et une réaction plus rapide aux évolutions (puisqu'on n'a plus à attendre d'écouler un stock important pour réagir).
- On peut citer un dernier élément intéressant pour l'entreprise qui est la conséquence de ceux précédemment présentés. Il s'agit de l'accroissement de la réactivité du système, devenu flexible, qui permet à l'entreprise de s'adapter vite, de réagir vite. En effet, le temps de réaction à une modification éventuelle de la demande est très rapide puisqu'on ne produit que pour répondre à la

demande avec des niveaux de stocks réduits au plus juste. Cette condition est essentielle en matière de « pérennisation » aujourd'hui.

Ainsi, contrairement à ce qui est souvent dit, le Kanban ne se réduit pas à un simple outil du juste-à-temps. Le processus Kanban implique un système de réglage fin de la production et du système de planification des approvisionnements. Il encourage le re-engineering industriel, tel que les implantations en cellules de production et une gestion des ressources humaines où le personnel, responsable de la cellule, est encouragé à participer efficacement à l'amélioration continue des processus Kanban dans le concept Kaizen.

5.2 La convivialité MRP-Kanban

On peut établir le constat suivant qu'une des limites du Kanban, c'est qu'il correspond à un système de pilotage d'atelier, et donc de gestion d'atelier court terme, et ne peut à ce titre intégrer des informations prévisionnelles. Il n'est donc pas adapté pour déclencher des approvisionnements ou des productions quand le délai d'anticipation est trop grand. Cela représente un problème quand la demande fluctue beaucoup, ce qui est le cas dans la plupart des entreprises aujourd'hui.

Faut-il supposer que le Kanban est inutilisable dans ce type de situation ?

Non ! On va utiliser l'outil de planification MRP pour pallier cette lacune. Cet outil va permettre de lisser la charge de l'atelier. Le fonctionnement de l'atelier ne sera plus alors fondé sur la demande réelle mais sur une demande régularisée. L'outil MRP va pour ce faire établir des programmes prévisionnels de production, assurant l'équilibre entre la charge et la capacité des ateliers et prévoyant l'utilisation prévisionnelle des machines, de la main-d'œuvre, le doublement éventuel des équipes, l'appel à la sous-traitance...

Il existe par ailleurs des possibilités d'ordonnancement simultané MRP-Kanban, certains ateliers pouvant fonctionner en Kanban, d'autres en MRP.

On peut par exemple citer la combinaison :

- ateliers de montage fonctionnant en Kanban, car plus proches au niveau délai de la demande ;
- ateliers d'usinage des composants et des sous-ensembles gérés par ordres de fabrication classiques.

Le Kanban n'étant qu'un système de régulation à court terme du flux de production, il ne fonctionnera correctement que si la régulation à moyen terme a été bien définie. Il existe donc une forte complémentarité entre MRP et Kanban.

6. Conclusion

La méthode Kanban est l'un des outils d'application de la philosophie *Lean Production*. Tous les éléments de réflexion évoqués dans le chapitre 10 consacré à la *Lean Production* doivent y être appliqués pour que le système Kanban fonctionne bien.

Cette méthode n'est en fait qu'une méthode d'organisation et de gestion d'atelier, et ne va pas au-delà.

Si l'entreprise qui l'utilise évolue dans un environnement parfaitement stable en terme de demande, elle pourra se satisfaire de piloter à vue avec son Kanban. Hélas, aujourd'hui, les entreprises dans cette situation sont très rares. Il devient alors nécessaire, dans un environnement instable, de coupler le Kanban avec le système de planification MRP dont le rôle consistera à régulariser la demande, planifier les approvisionnements et rendre le fonctionnement du Kanban possible et efficace.

N'oublions pas que d'autres éléments sont nécessaires pour que le Kanban soit efficace, en particulier la polyvalence, la polytechnicité, l'autonomie et la flexibilité des personnes qui feront fonctionner le Kanban. Comme dans tous les projets, ces personnes en sont l'un des facteurs clés de réussite !

Le Kanban est aujourd'hui un outil très répandu dans les entreprises où il est surtout apprécié pour sa réactivité, condition essentielle de survie de l'entreprise dans le contexte économique actuel.

Le Kanban est aussi utilisé de façon assez inattendue dans des entreprises qui n'ont pas d'activité de production industrielle traditionnelle, par exemple pour déclencher des réapprovisionnements de produits. C'est le cas dans la logistique pharmaceutique où il est largement répandu entre officines et plates-formes de regroupements de médicaments. La réactivité est l'atout essentiel de ce système puisque tout patient peut obtenir le médicament qu'il souhaite dans un délai d'une demi-journée. Il est aussi utilisé dans des restaurants de type « fast food » pour déclencher une nouvelle réalisation d'un lot de produits dont la consommation est souhaitée très vite. L'atout de ce système est là aussi sa très forte réactivité.

Il s'agit d'un outil très simple de mise en place et de compréhension à partir duquel on peut mettre en place un réel pilotage des ateliers au niveau des opérateurs, lesquels peuvent en assumer l'entière responsabilité.

Chapitre 9

La gestion d'atelier par les contraintes

1. Introduction

Nous avons souhaité présenter ici quelques éléments de réflexion sur une théorie de management industriel apparue aux États-Unis dans le dernier quart du xx^e siècle. Il s'agit de la théorie OPT (pour *Optimized Production Technology*) qui est le résultat des travaux de E. M. Goldratt. Ce dernier est principalement connu en Europe pour un ouvrage qui a un grand succès et qui développe, d'une manière très simple, les principes de la méthode : *Le but*.

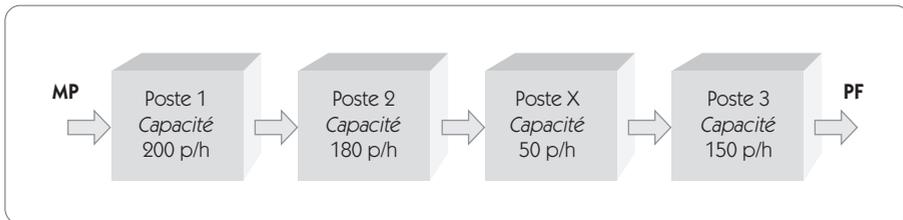
Cette approche présente une manière différente d'appréhender l'entreprise et son management dans sa globalité. Nous avons choisi de n'en évoquer ici que la partie pilotage de l'atelier.

Que peut bien signifier gérer un atelier par ses contraintes ? Qu'est-ce qui est une contrainte dans un atelier ? La mauvaise humeur de son responsable ? Eh bien non ! Une contrainte s'exprime en termes de capacité de production insuffisante, et plus précisément en termes de goulet d'étranglement.

Qu'est-ce alors qu'un *goulet d'étranglement* ?

Soit la ligne de production présentée en figure 9.1 :

Figure 9.1 – Ligne de production :
capacité des postes exprimée en pièces fabriquées par heure



Existe-t-il dans cette ligne de production un goulet d'étranglement ?

On peut observer qu'un des postes de production a une capacité nettement inférieure à celle des autres. S'agit-il d'un goulet ? Il ne nous est pas possible de répondre, car nous ne possédons pas suffisamment d'informations. L'information primordiale qui nous manque est l'information de demande, de besoin client.

En effet, si le besoin client est inférieur à 50 pièces par heure, notre ligne de production nous permet de répondre sans aucune difficulté à la demande ; il n'y a donc pas de problème, et donc pas de goulet, pas de contrainte.

Si, en revanche, le besoin client est supérieur à 50 pièces par heure, notre ligne de production possède au moins un goulet, le poste X, qui ne permet pas de répondre à la demande. Si, par ailleurs, le besoin client est supérieur à 150 pièces par heure, notre ligne possède deux goulets, le poste X et le poste 3.

Un goulet d'étranglement est donc une ressource de production, quelle qu'elle soit, dont la capacité de production ne permet pas de répondre aux besoins du marché.

Toute l'approche de la gestion d'atelier par les contraintes va consister à montrer que les goulets déterminent totalement les règles et les conditions de la production dans l'entreprise.

2. Les contraintes et le pilotage de l'atelier

2.1 Quelques remarques préalables

Notre analyse de la figure 9.1 nous a amenés à parler de goulet comme d'une ressource de production dont la capacité ne permet pas de répondre à la demande. De quelle capacité s'agit-il ?

Chaque fois que nous serons amenés à utiliser ce terme, nous l'emploierons pour parler de la *capacité démontrée* de la ressource. Cette capacité n'est pas la capacité théorique, la cadence donnée par le constructeur d'une machine par exemple. C'est la capacité réelle qui tient compte des pannes et de tous les aléas divers pouvant se produire sur la ressource. Cette capacité là reste en général trop souvent méconnue par les utilisateurs des ressources, ce qui pose des problèmes pour répondre de manière satisfaisante à la demande des clients.

Notre analyse concernant la figure 9.1 nous a également amenés à considérer qu'on pouvait observer plusieurs goulets sur une même ligne de production. Mais on peut dès maintenant remarquer que l'un des goulets est toujours plus pénalisant, donc « plus goulet que les autres », et c'est lui qui représentera la contrainte majeure de pilotage de la production. En effet, la cadence d'une ligne de production étant donnée par le poste le plus lent de cette ligne, c'est le poste « le plus goulet » qui pilotera la ligne.

Ces précisions étant apportées, on peut maintenant développer les principes de cette approche par les contraintes.

2.2 Équilibre des capacités, équilibre du flux

Les entreprises cherchent fréquemment sur une ligne de production l'équilibre des capacités. Cette démarche est imposée par la réflexion suivante : si les capacités ne sont pas équilibrées sur les différents postes d'une ligne de production, on peut être amené à attendre que les postes ayant une cadence inférieure terminent leur production.

La recherche de l'équilibre est bien difficile à réaliser car, comme nous l'avons montré précédemment, on connaît mal les capacités. Par ailleurs, en supposant qu'on y parvienne, que remarque-t-on ?

Chaque poste est soumis à des aléas divers : pannes machine, non-qualité des pièces, en-cours...

Ces aléas ne se produisent en général pas tous en même temps sur tous les postes de la ligne. Chaque fois qu'un aléa se produit sur un poste de production, les autres postes de la ligne vont subir indirectement les conséquences de cet aléa, par exemple, par le biais d'une rupture d'approvisionnement.

On peut alors observer un phénomène d'accumulation des aléas qui va générer un accroissement des délais, donc des retards, et le client ne sera pas satisfait !

La logique de gestion par les contraintes préconise donc de ne pas chercher à équilibrer les capacités, mais de les utiliser telles qu'elles sont, de manière à créer un flux adapté à la demande, par exemple en utilisant la polyvalence ou en ayant recours aux heures supplémentaires...

Il faut donc chercher à équilibrer le flux et non les capacités

Cette démarche conduit à maintenir dans les ateliers une situation de déséquilibre. La gestion par les contraintes va chercher à faire fonctionner au mieux les ateliers dans cette situation de déséquilibre.

2.3 Niveau d'utilisation d'un poste non-goulet

D'après ce qui vient d'être énoncé, on peut constater qu'il y a deux types de ressources dans un atelier :

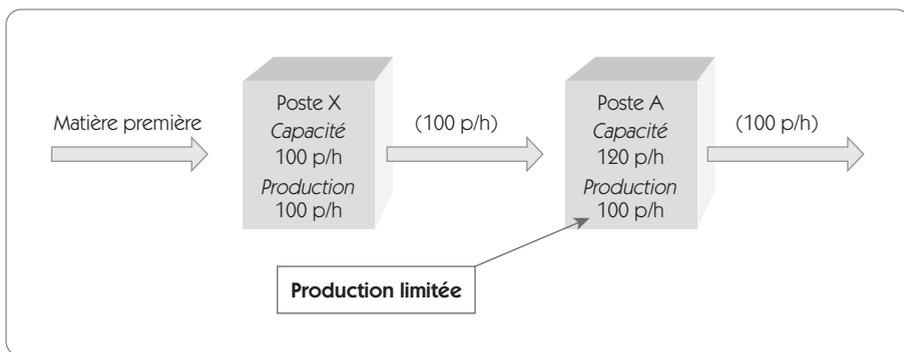
- les ressources *goulets*, ressources dont la capacité est inférieure à la demande du marché ;
- les ressources *non-goulets*, ressources dont la capacité est supérieure à la demande du marché.

Supposons une ligne de production composée de deux ressources :

- X ressource goulet de capacité 100 pièces à l'heure ;
- A ressource non-goulet de capacité 120 pièces à l'heure.

Supposons que la ressource X alimente, dans la ligne, la ressource A (figure 9.2).

Figure 9.2 – Ligne de production à goulet



Le goulet ayant une capacité limitée à 100 pièces par heure, on ne pourra jamais transférer plus de 100 pièces par heure au niveau de A ; on ne pourra donc jamais produire plus de 100 pièces par heure au niveau de A, même si sa capacité devrait lui permettre de produire davantage. On peut observer que la production d'un poste aval dépend elle aussi toujours de la capacité de production d'un poste amont, si celui-ci a une capacité inférieure à celle du poste aval.

Le niveau d'utilisation d'un non-goulet n'est pas déterminé par son propre potentiel, mais par d'autres contraintes du système.

Cette considération est à prendre très sérieusement en compte, car elle modifie sensiblement la perception que l'on peut avoir de la productivité d'un poste de production.

Si on effectue par exemple une étude de choix d'investissement parmi deux équipements dont un a une capacité quatre fois supérieure à l'autre (ce qui ramène le coût d'usinage par pièce calculé sur l'amortissement à une valeur faible), on aura tendance à choisir le matériel à forte capacité en prétextant sa rentabilité rapide. Mais supposons que l'on intègre ce matériel dans une ligne de production où l'un des postes situés en amont n'a qu'une capacité faible. On ne pourra faire passer sur le nouveau matériel qu'un cinquième ou un quart de la production prévue, ce qui va augmenter considérablement le coût unitaire des pièces produites et allonger le retour sur investissement.

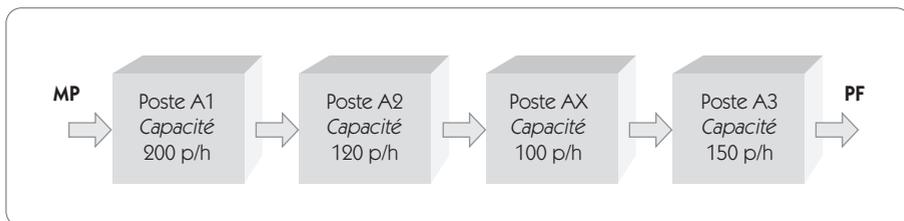
Cet exemple parmi d'autres montre qu'il est nécessaire de prendre en compte toutes les contraintes d'un système pour connaître et maîtriser le niveau d'utilisation possible des postes non-goulets.

Approfondissons encore cette idée. Supposons maintenant une ligne de production composée de quatre ressources :

- A1 : ressource non-goulet de capacité 200 pièces par heure ;
- A2 : ressource non-goulet de capacité 120 pièces par heure ;
- X : ressource goulet de capacité 100 pièces par heure ;
- A3 : ressource non-goulet de capacité 150 pièces par heure.

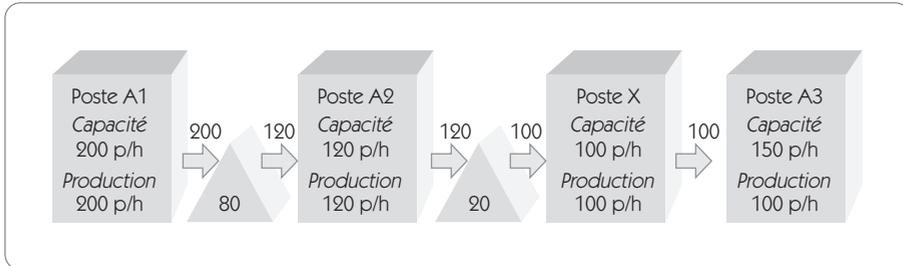
Supposons qu'on ait le flux de production illustré sur la figure 9.3 : A1 alimente A2 qui alimente X qui alimente A3.

Figure 9.3 – Ligne de production à 4 postes dont un goulet



Si on décide de produire en saturant la capacité, que va-t-il se passer ?

Figure 9.4 – Ligne de production à 4 postes dont un goulet : production en saturant la capacité



La première heure d'utilisation de la ligne, il va se créer un stock d'en-cours de 80 en amont du poste A2 et un stock de 20 en amont de X. Ces stocks ne pourront jamais être absorbés du fait de l'existence du goulet. Si on continue à fonctionner ainsi, les en-cours vont s'accumuler indéfiniment.

L'utilisation et le plein emploi d'une ressource ne doivent donc pas être synonymes.

Chaque poste de production s'intègre dans un système plus global qui lui impose son fonctionnement. Cette idée est à retenir pour essayer d'organiser et de faire fonctionner au mieux le système de production de l'entreprise.

2.4 Utilisation des goulets et fonctionnement du système de production

Si on reste dans la situation décrite en figure 9.4 et qu'on considère que notre ressource goulet n'est pas approvisionnée pendant un certain temps, ce qui ne lui permet de produire que 90 pièces au lieu de 100, que va-t-il se passer ?

On ne va pouvoir produire que 90 pièces en tout et pour tout, quel que soit le potentiel des autres postes de la ligne.

Une heure perdue sur un goulet est donc une heure perdue pour tout le système.

Il faut donc chercher à protéger les goulets puisque ce sont eux qui déterminent toute la production. Il faut qu'ils soient constamment approvisionnés afin qu'ils puissent au moins fabriquer l'équivalent de leur capacité. Si un stock est indispensable quelque part, c'est bien juste en amont d'un goulet ! Ailleurs non, car les postes ont une capacité suffisante pour leur permettre de compenser le retard par manque d'approvisionnement.

Supposons que l'on soit de nouveau dans la situation de la figure 9.2, où X alimente A. Supposons que l'on parvienne à diminuer le temps de changement de série sur A. Quel intérêt cela peut-il avoir puisque X limite toujours la production ?

Essayons de répondre aux deux questions suivantes :

Question n° 1

Quand on décide d'installer dans un atelier un chantier pilote SMED, sur quelle machine le fait-on *a priori* dans une logique traditionnelle ? Et pourquoi ? Et dans une logique de gestion par les contraintes ? Et à nouveau pourquoi ?

Dans une logique traditionnelle, on choisira pour un chantier SMED une machine qui a un temps de réglage long que l'on va essayer de diminuer pour réduire les tailles de lots de fabrication, et donc accroître la flexibilité en changeant de série plus souvent.

Dans une logique de gestion par les contraintes, on doit tout d'abord effectuer la démarche SMED sur le ou les goulets pour diminuer le temps de réglage et gagner ainsi du temps de production ; ainsi, on augmente la capacité du goulet afin que celui-ci soit « moins goulet ».

En conclusion, on utilisera SMED sur les goulets pour augmenter leur capacité de production et on utilisera SMED sur les non-goulets pour diminuer les tailles de lot et les rendre plus flexibles. On peut d'ailleurs remarquer que toute la surcapacité des non-goulets peut être utilement mise à profit en temps de réglage pour rendre ceux-ci plus flexibles.

Question n° 2

Quand on souhaite parvenir à une amélioration de la fiabilité des machines par mise en place d'une maintenance préventive, sur quelle

machine le fait-on *a priori* dans une démarche traditionnelle ? Pourquoi ? Et dans une démarche de gestion par les contraintes ? Et à nouveau pourquoi ?

Dans une logique traditionnelle, on choisira une machine fréquemment en panne, même si ce n'est pas le goulet, pour améliorer sa fiabilité.

Dans une logique de type gestion par les contraintes, on choisira d'effectuer l'action de maintenance préventive sur le ou les goulets même s'ils ne sont pas souvent en panne. L'objectif étant là aussi de gagner du temps de production, donc de gagner en capacité.

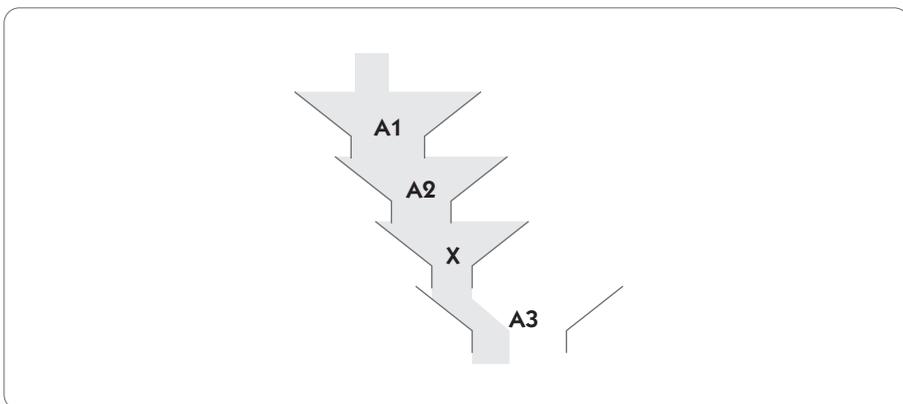
On peut donc conclure :

Une heure gagnée sur un non-goulet n'est qu'un leurre.

Toute la démarche que nous venons d'appliquer à des situations de diminution des temps de réglage ou d'amélioration de la fiabilité est parfaitement utilisable pour toutes les autres actions préconisées par la stratégie du juste-à-temps. Mais ces actions doivent être revues à la manière de la gestion par les contraintes et en privilégiant les goulets.

Les goulets ont une importance fondamentale. En effet, observons le graphique 9.5 où chaque entonnoir schématise un poste de production.

Figure 9.5 – Ligne de production schématisée par une suite d'entonnoirs représentant les postes de production



Le niveau d'eau dans chaque entonnoir représente bien évidemment la charge du poste et le diamètre d'ouverture représente quant à lui la capacité de production du poste. On peut observer, dans ce graphique, que le poste X qui est le goulet (il a la plus faible capacité et ne permet pas de répondre à la demande du marché) contraint tous les autres postes et impose le niveau de stocks de ces derniers.

Les goulets déterminent à la fois le débit de sortie et les niveaux de stocks.

Les goulets sont donc les contraintes à partir desquelles il faut piloter la production.

2.5 Les autres axes du pilotage des ateliers par les contraintes

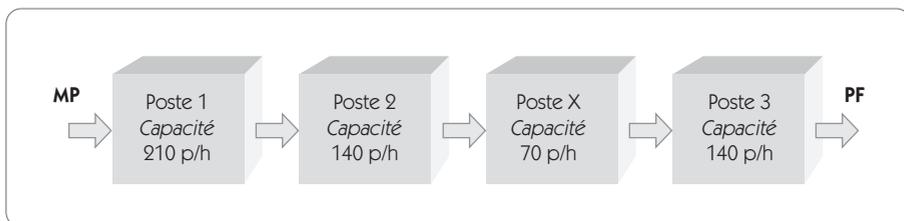
2.5.1 La notion de lot de transfert, la notion de lot de fabrication

Bien souvent, dans les ateliers, on a tendance à confondre les notions de lot de transfert et de lot de fabrication.

- Le lot de transfert est la quantité qui est transférée d'un poste à un autre.
- Le lot de fabrication est la quantité de pièces bonnes produite entre deux changements de série.

Considérons la ligne de production de la figure 9.6.

Figure 9.6 – Ligne de production ayant un goulet



Examinons les deux diagrammes de Gantt représentés sur les figures 9.7 et 9.8.

Figure 9.7 – Diagramme de Gantt n° 1

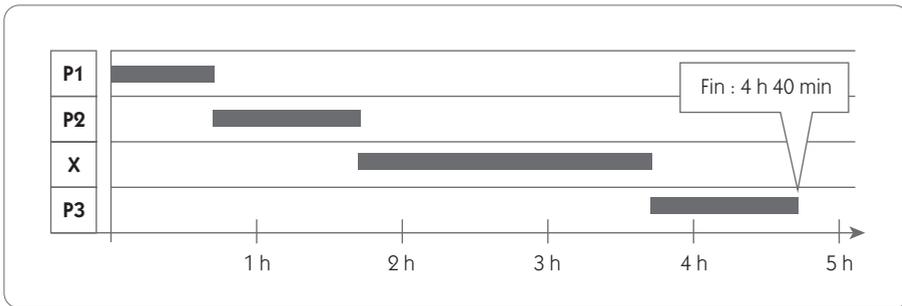
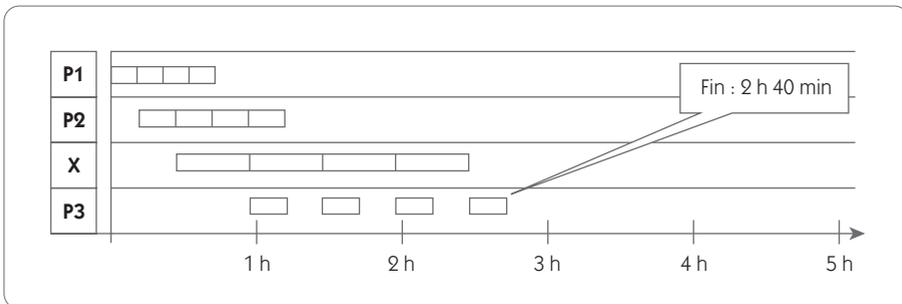


Figure 9.8 – Diagramme de Gantt n° 2



Quelles différences existe-t-il entre ces deux situations ?

- Dans la première situation, le lot de production est égal à 140 pièces, et le lot de transfert également.
- Dans la seconde situation, le lot de production reste égal à 140 pièces alors que le lot de transfert n'est que de 35 pièces. Cette situation permet de gagner un temps non négligeable, uniquement en réalisant certaines opérations en parallèle. On n'a pas effectué ici de démarche de type SMED ou autre.

Souvent le lot de transfert ne doit pas être égal au lot de production.

Si on applique cette idée, elle conduit à rechercher dans les ateliers des lots de transfert les plus faibles possibles : pièce à pièce, comme dans l'industrie automobile, est la situation idéale. Mais cela nécessite une excellente organisation, une implantation parfaite et une grande fiabilité des fournisseurs.

2.5.2 La détermination des tailles de lots de fabrication dans une gestion par les contraintes

Quand on cherche à déterminer la taille des lots de fabrication dans l'entreprise, on applique en général une démarche proche de la démarche de la quantité économique avec tous les problèmes que l'on connaît... On recherche en effet une taille de lot qui permette de rentabiliser le coût du réglage effectué pour réaliser la fabrication.

Dans cette situation, prenons l'exemple caricatural suivant : si un client commande à un fabricant 50 vis d'un type particulier, celui-ci pour rentabiliser son réglage en fabrique 1 000 et en stocke 950. Que deviendront les 950 stockées ?

Pendant qu'il fabrique les 950 vis non demandées, d'autres clients passent des commandes qui, elles, ne sont pas satisfaites dans les délais.

Par ailleurs, la taille de lot retenue continuera à être utilisée sans modification chaque fois qu'on devra fabriquer ce produit.

Cette situation est aujourd'hui utilisée par toutes les entreprises qui utilisent des logiciels de GPAO de type MRP, c'est-à-dire plus de 80 % des entreprises françaises.

Or, il ne peut y avoir ajustement entre la taille de lot et la quantité demandée que si les temps et donc les coûts de réglages sont très faibles et si le système de gestion informatique de l'entreprise fonctionne en *lot for lot*, c'est-à-dire en taille de lot = besoin net.

Le système de gestion par les contraintes préconise un système où les lots de fabrication doivent être variables.

2.5.3 La détermination des délais de fabrication

Quand on cherche à déterminer le temps de fabrication d'un lot de pièces sur un poste de production, on utilise en général les composantes suivantes :

- temps de préparation du poste (P) ;
- temps gamme d'exécution pour une pièce (U) ;
- quantité de pièces dans le lot (Q) ;
- temps d'attente moyen estimé du lot de pièces avant passage sur le poste de production (A) ;
- temps de déplacement moyen estimé d'un poste à un autre (D).

On a alors le temps de fabrication sur le poste (F) :

$$F = P + Q \times U + A + D$$

Ce temps, estimé une fois pour toutes, est inséré dans le logiciel de gestion de production et tous les calculs d'ordres de fabrication sont effectués avec ce temps-là.

Le temps réel de fabrication, quant à lui, est différent du temps estimé F . Il est en particulier fonction des *contraintes* du système de fabrication : panne, opérateur absent, dérive de la machine... Les contraintes sont différentes d'un moment à l'autre, d'un jour à l'autre.

Dans une gestion traditionnelle par MRP, on fige un délai estimé qui ne correspond en rien aux contraintes du système de production à un instant donné.

Cette situation est absurde et la gestion par les contraintes préconise d'établir les programmes en prenant en compte toutes les contraintes simultanément, les délais de fabrication étant le résultat d'un programme et ne pouvant être prédéterminés.

2.6 La gestion de l'entreprise

Dans ce domaine, la gestion par les contraintes nous fait observer que *la somme des optimums locaux n'est pas l'optimum du système global.*

Dans une entreprise, on peut dire que ce n'est pas parce que chaque personne, chaque atelier, chaque service de l'entreprise est efficace, que l'on a une entreprise globalement efficace.

Il faut chercher à faire en sorte que dans l'entreprise toutes les personnes travaillent dans un même but commun : la stratégie de l'entreprise, et tirent l'entreprise dans le même sens.

Pour cela deux éléments sont indispensables et décisifs, source de l'optimum du système global. Il s'agit du *déploiement stratégique* et du *travail ensemble*. Il est surprenant d'observer que, dans de nombreuses entreprises, peu de personnes connaissent ce que la stratégie globale de l'entreprise signifie à leur niveau de chef d'atelier, d'agent de maîtrise, de responsable de processus ou de simple opérateur. Or, on ne peut motiver les personnes qu'en leur précisant les objectifs qui leur sont assignés. Par ailleurs, il est important que les forces vives de l'organisation travaillent ensemble pour converger vers un but commun défini par la stratégie déployée. Prenons un exemple classique. Considérons deux services d'une entreprise : les services « achats » et « production ». Supposons que chacun de ces deux services recherche son efficacité individuelle de service, que va-t-il se passer ?

Le service « achats » va chercher à minimiser ses coûts d'achats pour faire économiser de l'argent à l'entreprise et pourra se targuer d'avoir fait économiser des sommes importantes. Mais les conséquences pour la « production » seront dramatiques : les composants achetés à bas prix présenteront sans doute des problèmes de non-qualité, de non-respect des délais, des quantités..., qui finalement coûteront beaucoup plus cher que les économies réalisées par les « achats ».

3. Mise en œuvre de la gestion d'atelier par les contraintes

3.1 Les étapes préalables

3.1.1 La formation du personnel

La gestion d'atelier par les contraintes se traduisant par une conception de l'entreprise très différente de la conception traditionnelle, il est tout à fait souhaitable de commencer par former, ou au moins informer, le personnel de la nouvelle manière d'appréhender les problèmes dans l'entreprise. Cette formation doit se faire à tous les niveaux hiérarchiques, y compris celui des opérateurs qui vont être les utilisateurs directs de la méthode.

3.1.2 Les actions de progrès

On retrouve ici toutes les actions préconisées par la philosophie *Lean Production* mais appréhendées sous l'angle de la gestion par les contraintes. Nous avons déjà précisé la manière d'envisager le SMED et la maintenance préventive par les goulets ; nous allons maintenant décrire simplement la manière d'envisager les contrôles qualité sur les goulets.

Dans une démarche juste-à-temps, on cherche à développer l'auto-contrôle et la maîtrise des procédés afin d'empêcher que ne se propage toute non-qualité.

Si l'on applique ces concepts dans une démarche par les contraintes, cela va se traduire de la manière suivante :

- On va tout d'abord effectuer des contrôles qualité sur la machine qui précède le goulet, pour ne faire passer sur le goulet que des pièces bonnes et ne pas lui faire perdre de la capacité sur des pièces déjà mauvaises.
- On va ensuite développer la recherche de la maîtrise des procédés sur le poste goulet et sur tous les postes qui le suivent dans la ligne de production : sur le poste goulet pour qu'il ne perde

pas de la capacité à fabriquer des pièces mauvaises et sur les autres postes pour que les pièces bonnes issues du goulet ne soient pas abîmées par des opérations d'usinage ultérieures ou des opérations d'assemblage avec des pièces mauvaises.

- Sur tous les autres postes de la ligne, tous les postes qui précèdent le poste précédant lui-même le goulet, on n'a pas besoin d'une action particulière à court terme en qualité puisqu'ils ont une capacité suffisante pour compenser la fabrication de rebuts.

Toutes les actions de progrès de type juste-à-temps ou non doivent donc être envisagées selon l'aspect goulet.

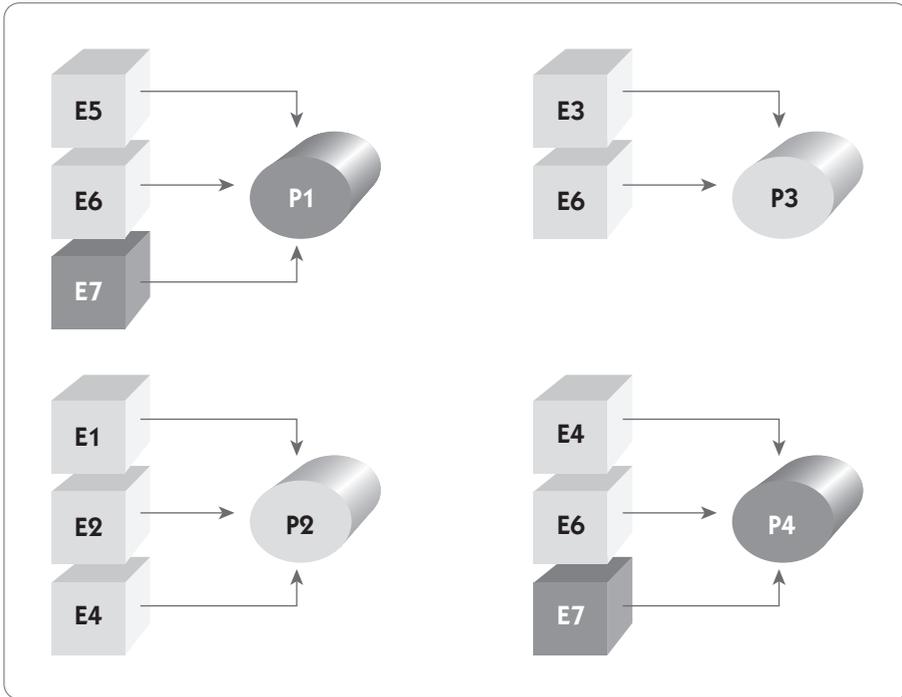
3.2 La détection des goulets

On dispose de différents moyens pour détecter les goulets dans un atelier :

- Une machine dont les stocks situés en amont sont importants est très probablement un goulet. Cependant, les stocks liés à une machine ne sont pas toujours situés à proximité de celle-ci, pour des raisons d'encombrement.
- Si on recherche les produits finis qui sont livrés constamment avec du retard, on constate bien souvent qu'ils sont fabriqués sur... une ou plusieurs machines goulets.

Exemple

Figure 9.9 – Détection des goulets



Une entreprise fabrique quatre produits $P1$, $P2$, $P3$ et $P4$ à partir de pièces fabriquées par l'entreprise $E1$, $E2$, $E3$, $E4$, $E5$, $E6$ et $E7$ (figure 9.9).

Les produits $P1$ et $P4$ ne sont jamais livrés dans les délais. Où se situent donc le ou les goulets ?

On constate que $P1$ et $P4$ ont deux composants communs $E6$ et $E7$. Mais $P3$ a lui aussi comme composant $E6$ et il n'est pourtant jamais livré en retard. Aucun autre produit fini n'a comme composant $E7$. On peut donc raisonnablement supposer que $E7$ est fabriqué sur une machine goulet !

Cet exemple est un peu simpliste, mais il donne quand même une idée de la démarche à suivre.

On peut être amené à penser que, de toute façon, les goulets changent de place dans l'entreprise en fonction de la demande du moment et donc de la production du moment. Cela est probablement vrai pour des entreprises qui ont des productions très différenciées et à durée de vie extrêmement courte. Pour toutes les autres, les goulets sont stables.

À partir du moment où les goulets sont repérés, il est nécessaire de leur appliquer les règles que nous avons développées précédemment :

- utiliser les goulets à plein rendement ;
- protéger les goulets ;
- gagner des heures de production sur les goulets ;
- utiliser les temps disponibles des non-goulets ;
- etc.

Mais ces règles n'ont pour but que de fonctionner le moins mal possible pendant la période où l'on n'est pas encore capable d'éliminer les goulets, puisque le but ultime doit bien évidemment être d'éliminer les goulets ! Mais on peut imaginer que, dans une entreprise en bonne santé économique où la croissance est de mise, l'élimination d'un goulet va se traduire par la création d'un autre ailleurs, à gérer lui aussi, et ainsi de suite. La gestion par les goulets est donc une quête quasi permanente !

3.3 Le pilotage de l'atelier par les contraintes

Il existe un type d'organisation d'atelier par les contraintes, comme il existe un type d'organisation Kanban.

La présence d'un goulet dans une ligne de production a les conséquences suivantes :

- La production est déterminée par la capacité du goulet.
- Il se crée devant le goulet un stock généralement impossible à résorber sauf en arrêtant périodiquement l'ensemble des machines situées en amont du goulet.

Pour éviter l'existence de ce stock, la gestion par les contraintes propose un *système d'information liant les approvisionnements ou la ressource située le plus en amont sur la ligne à la ressource goulet*.

La quantité de matières premières approvisionnée ou la fabrication du premier poste de la ligne sera égale à la quantité qui pourra être traitée par le goulet du fait de sa capacité limitée.

Ce système d'information peut être matérialisé de différentes manières, par exemple, à l'instar du Kanban, par une circulation d'étiquettes, mais circulant uniquement entre le poste goulet qui réalise l'appel de l'aval et le premier poste de la ligne ou les approvisionnements.

4. Conclusion

La méthode de pilotage de l'atelier par les contraintes utilise de nombreux concepts d'autres philosophies ou d'autres méthodes comme le *Lean Production*, le MRP2 ou l'ordonnancement classique, mais en les exploitant à la manière de la gestion par les contraintes. Elle nécessite une approche de l'entreprise par ses goulets d'étranglements.

La démarche que nous avons étudiée peut être utilisée dans toutes les entreprises de production quel que soit leur secteur d'activité. Cette démarche est parfaitement complémentaire d'une démarche *Lean Production*/qualité totale, d'une planification de type MRP2.

Dans la démarche de pilotage des ateliers par les contraintes, l'objectif de court terme est bien entendu de gérer au mieux les ateliers en connaissant leurs problèmes, donc en pilotant grâce à la connaissance des goulets. L'objectif de long terme est de supprimer les goulets. Il serait stupide de poursuivre longtemps sans pouvoir répondre à la demande, donc de perdre des parts de marché.

Nous n'avons étudié ici qu'une petite partie du management par les contraintes, fondée sur le pilotage d'atelier. Mais elle recouvre d'autres aspects de management plus globaux, et en particulier une réflexion sur la mesure de la performance de l'entreprise.

Chapitre 10

Du juste-à-temps au *Lean Management* et à Six sigma

1. Introduction

1.1 Historique du *Lean Management*

Dans le monde économique, le seul moyen pour une entreprise de subsister consiste à maintenir des marges bénéficiaires suffisantes. Toutefois, dans l'économie de marché, qui est l'environnement actuel, *gagner plus en vendant plus cher* est difficile à cause de la situation de concurrence ; il reste donc à *dépenser moins en agissant sur les coûts*.

En revanche, s'il est toujours possible de dépenser moins, encore faut-il qu'en fin de compte le client y trouve son compte et pour cela il faut que ce mouvement s'accompagne d'un *niveau de qualité acceptable et accepté*.

Le concept du *Lean Management* repose sur la question suivante : peut-on réaliser des produits collant parfaitement aux attentes des clients, à des coûts exceptionnellement bas et d'une exceptionnelle qualité ? Deux idées maîtresses sont au cœur du *Lean Management* :

- La suppression de tous les gaspillages tout au long de la chaîne logistique et dans tous les processus de l'entreprise. Autrement dit, être économe dans l'entreprise et non vis-à-vis du client !
- Mettre l'homme au cœur du dispositif en exploitant toutes les capacités intellectuelles, dans toutes les structures de l'entreprise, à tous les échelons.

Développés au départ par les entreprises japonaises et principalement par Toyota à partir des années 1950, les concepts essentiels de cette philosophie industrielle n'ont cessé de se développer au cours des dernières décennies. Centré autour du juste-à-temps à la fin du siècle dernier, le concept concernait principalement les lieux de production. L'évolution du juste-à-temps s'est réalisée dans toutes les dimensions :

- Dimension du cycle de vie du produit car la chaîne logistique ne commence pas à l'entrée de l'atelier de production et ne se termine pas à sa sortie. Il a donc fallu s'intéresser à tout le cycle depuis la production des composants chez les sous-traitants jusqu'au suivi après-vente et le recyclage du produit en fin de vie.
- Dimension des processus industriels puisque les gaspillages ne sont pas seulement faits dans les processus de production, mais dans tous les processus de l'entreprise depuis la définition marketing du produit, puis sa conception, jusqu'au service de facturation.
- Dimension des gammes de produits. En effet, si le juste-à-temps s'intéressait principalement aux produits déjà développés, le *Lean Management* va plus loin en rendant l'entreprise capable de développer de nouveaux produits plus conformes aux attentes du marché, et ce plus rapidement.

Le juste-à-temps avait pour objectif de ne produire que ce qui serait vendu mais tout ce qui serait vendu, et ce juste à temps. Le *Lean Management* vise à rendre l'entreprise plus performante, plus compétitive, plus apte à s'adapter rapidement aux fluctuations incessantes et rapides des marchés.

Lean Management se traduit littéralement par « management minceur », « management au plus juste ». Un système de management *lean* sera un système de management svelte, agile, athlétique, capable de s'adapter rapidement à tout changement de son environnement en n'utilisant que l'énergie nécessaire sans gaspillage. Le concept de *Lean Management* peut être vu comme une évolution des concepts de production au plus juste développés dans nos entreprises à la fin du XX^e siècle.

1.2 Principes de base du *Lean Management*

Le *Lean Management* a pour objectif d'améliorer la performance industrielle tout en dépensant moins. C'est le même problème que celui qui se pose à un sportif qui cherche à obtenir la performance maximale en réduisant le plus possible l'énergie consommée. Pour illustrer cette comparaison, prenons le cas d'un débutant en ski de fond sur un « pas de skating ». Maîtrisant mal son équilibre, il va dépenser une énergie considérable qui ne se traduira pas en vitesse d'avancement et sera épuisé après quelques kilomètres. Au fur et à mesure de ses progrès dans la justesse de ses gestes, dans son équilibre, dans la lecture de la piste, il va pouvoir concentrer son énergie sur la seule performance utile : sa vitesse d'avancement. Au total, pour la même dépense énergétique, on peut facilement multiplier sa vitesse par un facteur 3 simplement en éliminant les gaspillages énergétiques. C'est le même problème pour les entreprises industrielles : comment améliorer notre performance sans consommer plus d'énergie ?

Pour atteindre ce niveau dans une entreprise, on doit s'appuyer sur un certain nombre de points clés :

- la suppression de tous les gaspillages,
- une production en flux tendus,

- une gestion de la qualité favorisant l'amélioration continue et l'amélioration par percée,
- la réduction des cycles de développement des produits,
- une attitude prospective vis-à-vis de ses clients.

1.2.1 La suppression des gaspillages

Pour dépenser moins, il faut se rapprocher le plus possible de l'optimum, ne dépenser que ce qui est indispensable pour apporter de la valeur ajoutée au produit. Illustrons ce principe par un exemple caricatural pris dans la vie de tous les jours.

« Un client pressé se présente au bar d'un café et commande un café bien serré. Le restaurateur qui n'a plus de café disponible au comptoir va dans son arrière-boutique, cherche un paquet de café et renverse une boîte de sucre qui était mal rangée. Il revient au comptoir, fait le café, mais laisse trop couler l'eau. Mécontent, le client demande un nouveau café, plus serré. Le restaurateur, énervé, manipule mal sa machine déjà mal en point et casse un élément du percolateur. Après une réparation de fortune, le restaurateur apporte le nouveau café mais oublie le sucre. Il est obligé d'aller chercher le sucre à l'autre bout du comptoir. Lorsqu'il revient, le client pressé est parti. »

Dans cette petite anecdote, on constate de nombreux *gaspillages* évidemment inutiles :

- boîte de sucre renversée faute d'un mauvais *rangement* ;
- nombreux *déplacements* inutiles ;
- problèmes de *qualité* suite à une mauvaise compréhension des attentes du client ;
- problèmes de *fiabilité* de la machine.

Le *Lean Management* a pour objet *la suppression de tous les gaspillages*.

Le mode de vie occidental est en lui-même un obstacle majeur à la diminution des coûts car nous n'avons pas l'habitude de lutter contre les causes des problèmes. Devant chaque difficulté, nous trouvons toujours un moyen de contourner le problème, parade qui rend l'effet supportable.

Quelques exemples où la difficulté est contournée :

- durée de changement d'outil – la formule de Wilson détermine un « lot économique » au lieu de chercher à réduire les temps de changement d'outils ;
- pannes des machines – on constitue des stocks de sécurité ;
- excès de stock – on développe les entrepôts de stockage ; on achète un magasin automatisé ;
- manutentions longues et difficiles – on investit dans des systèmes de manutention sophistiqués.

Cette parade de contournement contribue systématiquement à augmenter le coût. Nous devons donc toujours garder en mémoire la maxime suivante : on ne doit pas gérer un handicap, on doit l'éliminer.

Sur un poste de production, les 7 principales sources de gaspillage sont identifiées : on les appelle les 7 *Muda* (gaspillage en japonais).

1. **Surproduction** : on continue à produire alors que l'ordre de fabrication est soldé.
2. **Attentes** : l'opérateur passe un pourcentage de temps important à attendre la fin des cycles de la machine. Les temps de cycles ne sont pas équilibrés, les processus ne sont pas en ligne.
3. **Déplacements inutiles** : par exemple, lorsqu'une surproduction a été réalisée, on doit emmener le surplus dans le stock puis le ressortir, d'où deux déplacements sans apport de valeur ajoutée.
4. **Opérations inutiles** : tendance de tous les opérateurs à atteindre des niveaux de spécification qui vont au-delà des attentes des clients. Cela est spécialement vrai pour des défauts visuels. Cela augmente les temps de production, les retouches, les rebuts, et donc les coûts. D'où l'intérêt de parfaitement définir le niveau attendu pour chaque spécification et de se donner les moyens de mesurer correctement ces spécifications.
5. **Stocks excessifs** : outre les aspects coûts, les stocks excessifs conduisent à des gaspillages de temps pour retrouver la référence.
6. **Gestes inutiles** : par une mauvaise conception des postes de travail, on diminue considérablement l'efficacité de ces postes en imposant des déplacements, des gestes, des transports inutiles.

7. **Défauts** : le processus génère de la non-valeur ajoutée ; il faut attendre pour avoir de nouvelles matières premières, les défauts peuvent ne pas être vus alors que l'on passe à l'opération suivante.

1.2.2 Une production en flux tendus

Jean de La Fontaine avertissait : « Il ne faut pas vendre la peau de l'ours avant de l'avoir tué. » Le *Lean Management* nous dit au contraire : « Ne tuez pas l'ours avant d'avoir vendu sa peau, cela risque de faire du stock, la peau peut s'abîmer et vous n'êtes pas sûr de la vendre ! ». Cette petite boutade nous permet de bien saisir les différences fondamentales qui existent entre la gestion traditionnelle et le *Lean Management*. Dans le premier cas, on fabrique puis on vend, dans le second, on vend puis on fabrique. En revanche, il faut organiser la production de façon qu'elle réponde dans un délai qui soit acceptable par le client.

La production en flux tendus permet à l'entreprise de réduire de façon considérable ses cycles de production afin de ne produire que ce que le marché demande. Cette tension des flux s'accompagne d'une accélération de la vitesse de circulation des produits sur le site de production. Par analogie avec un cours d'eau, on peut associer la production traditionnelle à la Seine qui comporte beaucoup de méandres et un débit finalement faible compte tenu de la capacité du fleuve. Tendre les flux va consister à donner de la pente à ce fleuve et supprimer les méandres afin d'accélérer les temps de passage. Le débit sera alors considérablement augmenté sans qu'il faille pour autant modifier la capacité du fleuve.

La tension des flux consiste à réduire considérablement les délais de production afin de les rendre le plus synchrone possible avec les évolutions du marché. Cette synchronisation entre le marché et la production présente bien des intérêts.

1. **Limiter le fond de roulement, le stock...** Plus le délai de production est important, plus l'investissement en matières premières et en valeur ajoutée est décalé par rapport au paiement des clients. La seule façon de pouvoir financer une telle avance de trésorerie est de disposer de fonds de roulements importants. La

réduction des cycles de production permet de dégager des sommes considérables qui seront mieux utilisées en investissement productif.

2. **Maîtriser la marge.** Dans notre société où les techniques évoluent rapidement, il n'est plus possible de maîtriser sa marge lorsque le décalage entre l'achat de matière première et la facturation au client est trop long. Pour illustrer ce point, prenons l'exemple d'une société fabriquant des ordinateurs. L'évolution du prix des microprocesseurs, des mémoires, est telle que la seule solution pour maîtriser sa marge consiste à ne plus fabriquer à l'avance, mais à organiser l'entreprise pour ne fabriquer que ce qui est déjà vendu. Ce principe a fait le succès de DELL Computer par exemple.
3. **Éviter les coûteuses opérations de soldes.** À partir du moment où l'entreprise a des stocks, il lui faut régulièrement les apurer. On y procède par des opérations de soldes et de démarques. Outre le fait que l'on ne gagne pas beaucoup dans de telles actions, on sature le marché, ce qui nous fera probablement perdre des ventes à bonne marge.

Dans la plupart des entreprises, les produits passent plus de 95 % du temps à attendre. Ce temps perdu est un gaspillage considérable. Pourtant, ces délais sont souvent le résultat de quelques postes de travail qui sont de véritables « pièges à temps ». La première action consiste donc à identifier les sources de non-performance et d'en éliminer les causes afin de réduire tous ces temps d'attente.

Les actions à mener

Les principales causes qui empêchent de tendre les flux sont connues. Selon les entreprises, elles apparaissent de façon plus ou moins marquée ; le tout est d'identifier celles qui handicapent le plus l'entreprise. Les principales causes sont au nombre de sept :

- mauvaises implantations, trajets trop longs ;
- durée de changement d'outil trop longue ;
- problèmes de qualité ;
- pannes et mauvaise fiabilité ;
- fournisseurs non fiables ;

- mauvaise polyvalence du personnel ;
- tenue du poste de travail.

On pourrait certainement allonger cette liste, mais l'expérience montre qu'une action efficace dans les domaines cités a un effet considérable sur la tension des flux.

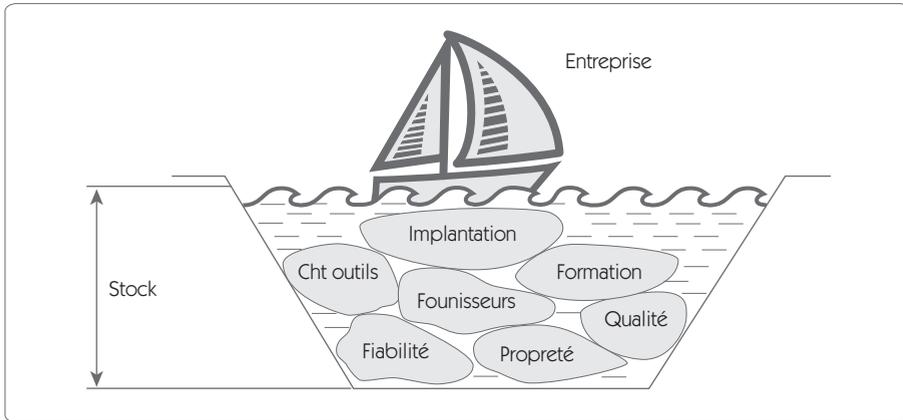
Si les causes principales de non-compétitivité sont effectives, cela se traduit par :

- des stocks élevés ;
- des délais excessifs ;
- du retard dans les livraisons ;
- des pièces manquantes ;
- un manque de motivation ;
- du gaspillage (hommes, temps, matières, locaux, équipements) ;
- une mauvaise utilisation des moyens...

Conséquence directe de ces sept causes fondamentales, le couple stocks/délais constitue un excellent thermomètre pour mesurer l'importance du mal. En agissant sur les causes fondamentales, on pourra obtenir les résultats suivants :

1. apporter de la souplesse au système de production ;
2. améliorer la productivité et les coûts des produits ;
3. gagner de la place ;
4. améliorer l'efficacité ;
5. diminuer les besoins d'investissement et les charges liées.

On a l'habitude de représenter les sept causes fondamentales comme des récifs au fond d'un chenal, qui empêchent toute navigation. La seule solution pour naviguer quand même (pour produire quand même) est d'augmenter le niveau d'eau (augmenter les stocks).

Figure 10.1 – Les causes principales de la non-compétitivité

Nous avons déjà largement commenté dans cet ouvrage certaines actions et certains outils de la production en flux tendus. C'est le cas de l'implantation des ateliers de production (chapitre 2), du Kanban (chapitre 8). Nous invitons le lecteur à se reporter à ces chapitres pour étudier en détail ces aspects. Nous présenterons dans ce paragraphe les autres méthodes importantes visant à diminuer les gaspillages et tendre les flux

1.2.3 La réduction des cycles de développement des produits

Le *Lean Management* est lié à l'accélération du fonctionnement des processus. C'est vrai pour le processus de production, mais aussi pour les autres processus comme le développement de nouveaux produits, la facturation, les approvisionnements...

Le développement de nouveaux produits est particulièrement important dans la démarche *Lean*. Pour adapter l'entreprise aux situations fluctuantes du marché, il faut être capable de développer en un temps record de nouveaux produits accueillis positivement par les clients.

Le délai de développement est un facteur décisif de compétitivité. Il est donc vital de réduire les temps de cycle. Traditionnellement, le processus de développement est un processus séquentiel composé d'une succession d'étapes et de jalons. Pour pouvoir commencer l'étape $n + 1$, on attend d'avoir terminé l'étape n . Cette façon de faire est très

consommatrice de temps. Un développement *Lean* consistera à économiser du temps en faisant le plus d'étapes possibles en parallèle ou au moins en chevauchement.

Pour cela, il faut être capable de commencer à travailler avec des données imprécises qui gagneront en précision au fur et à mesure du développement. Il faut également réduire les allers-retours dans le développement.

Ces deux éléments (réduction des allers-retours et travail en parallèle) paraissent parfois incompatibles. En effet, si je développe sur des éléments qui évoluent, cela risque de remettre en cause tout le travail déjà réalisé. Pour éviter cela, il faut réaliser le même travail de différenciation « au plus tard » que celui que l'on a réalisé dans les ateliers de production.

Prenons l'exemple du développement d'une nouvelle montre. Le marketing n'a pas besoin de définir complètement le produit avant que le bureau d'études ne commence à travailler. Le type de décoration sur le cadran, éventuellement le bracelet, pourront être définis plus tard. Dans certains cas, on peut même laisser un peu de liberté sur certains points de la forme extérieure. Le tout est de bien organiser le développement pour permettre des modifications « au plus tard » en définissant parfaitement à chaque étape les choix qui ne pourront pas être remis en cause sans pénaliser fortement le délai de développement.

Le second point qui permet de développer dans un temps record consiste à réaliser des développements sur des connaissances solides et sur des progrès validés par des essais. Le prototype de validation ne doit pas servir à valider un nouveau concept. Il est fondamental de séparer les essais expérimentaux des essais de validation.

Les essais expérimentaux valident de nouveaux concepts. Ils ne sont pas intégrés dans un cycle de développement de produit. On peut donc subir des échecs de développement sans pénaliser la sortie d'un nouveau modèle. Lorsque le concept est validé, on peut l'intégrer comme un module dans un cycle de développement de produit. Les essais de validation n'ont alors comme autre fonction que de valider la conception. Dans le cas d'une conception bien conduite, à partir de concepts

validés par ailleurs, et avec une étude sérieuse des défaillances potentielles par l'AMDEC², la validation ne doit conduire qu'à des modifications mineures ne pénalisant pas le délai de développement.

Cette méthode de développement accéléré porte le nom d'ingénierie simultanée. Elle a été tout d'abord mise en œuvre dans l'automobile où le développement de nouveaux produits est un élément clé de la survie sur le marché impitoyable que l'on connaît. On peut remarquer qu'un certain nombre de problèmes sont apparus suite à une utilisation pas assez rigoureuse de cette méthode. Un développement très rapide (voire trop) rend parfois impossible tout retour en arrière, toute remise en cause de certaines parties des projets. C'est ainsi qu'on a pu observer l'apparition, pour de nombreux constructeurs automobiles, sur de nombreux modèles, de défauts nécessitant de rapatrier des milliers de véhicules défectueux pour corriger le problème, aléas qui coûtent aux entreprises concernées des sommes prohibitives. Cette méthode doit donc être appliquée avec beaucoup de savoir-faire et de rigueur.

1.2.4 Une attitude prospective vis-à-vis de ses clients

Pour pouvoir réagir rapidement, une entreprise doit se doter d'une structure agile et réactive, mais il lui faut également développer des organes quasi sensoriels pour se placer à l'écoute de la société. Un peu à l'image du sportif de haut niveau, il ne suffit pas pour réussir d'un excellent entraînement, il faut également avoir une perception claire de l'environnement pour être à même de réagir positivement à toute évolution.

Pour se mettre à l'écoute des clients, il faut engager une action en profondeur dans leur sens. Il est donc indispensable d'instaurer un système d'étude de marché permanent et le plus complet possible pour bien identifier les besoins.

Pour ce faire, il convient :

- **d'identifier les différentes catégories de clients potentiels ;**

2. AMDEC – Analyse de modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités. Voir pour plus de détail l'ouvrage *Qualité en production*, D. DURET, M. PILLET, Éditions d'Organisation, 2001.

- **d'analyser les produits :**
 - produits vendus par l'entreprise,
 - produits concurrents ;
- **d'écouter la voix des personnes intéressées directement ou indirectement par le produit :**
 - les clients,
 - les propriétaires,
 - ceux qui ont acheté vos produits,
 - ceux qui ont acheté les produits concurrents,
 - ceux qui sont passés aux produits concurrents,
 - ceux qui sont satisfaits,
 - ceux qui ne sont pas satisfaits ;
- **d'identifier toutes les attentes clients par rapport au produit :**
 - les innovations souhaitées,
 - la hiérarchie entre les différentes attentes,
 - les fonctions essentielles ou facultatives,
 - la liste des améliorations potentielles à apporter.

Cette étude doit couvrir les aspects techniques et émotionnels en recourant à différentes méthodes :

- sondage (courrier, téléphone) ;
- cliniques (les clients viennent avec leurs produits et discutent du produit) ;
- groupes de discussion (une heure ou deux avec des personnes représentatives) ;
- interviews individuelles (pour faire ressortir les attentes des personnes silencieuses) ;
- écoute dans la structure de vente, les foires, expositions...
- information existante au sein des archives de l'entreprise.

Pour développer ces deux aspects (sensitif et prospectif), l'entreprise doit se mettre à l'écoute de ses clients, mais aussi du monde extérieur, des grandes évolutions de pensées. Par exemple, on assiste à plusieurs évolutions de courants de pensée dans le monde actuel : citons la quête d'une éthique dans les affaires industrielles, la recherche d'un commerce équitable, une prise de conscience majeure des enjeux éco-

logiques. Face à ces évolutions de la société, quelle est la réflexion de l'entreprise, comment situe-t-elle les développements de ses nouveaux produits, réagit-elle positivement ou bien reste-t-elle arc-boutée sur des positions qui – à la longue – deviendront intenables ?

1.2.5 Gestion de la qualité

Parallèlement aux évolutions constatées en gestion industrielle, la qualité a également beaucoup évolué ces dernières décennies. Initialement, la tâche principale de la qualité concernait le contrôle de conformité des produits. Par la suite, on s'est intéressé à l'organisation de la structure de l'entreprise afin de donner confiance aux clients. Désormais, le rôle de la fonction qualité dépasse la seule qualité du produit pour intéresser la performance de l'entreprise. La recherche de la conformité du produit doit être dépassée pour tendre vers une dynamique de progrès à travers plusieurs actions clés.

L'introduction de la méthode Six sigma traduit en partie cette évolution avec la volonté de changer de rythme dans l'amélioration de l'entreprise. On a recherché l'amélioration par percée plutôt que l'amélioration permanente. En effet, l'amélioration continue est nécessaire, mais les logiques qu'elle met en œuvre ne permettent pas de faire de percée. Pour ce faire, il faut procéder à une remise en cause plus fondamentale : il faut remettre à plat le processus ou le produit.

Pour illustrer la différence qui existe entre le progrès permanent et le progrès par percée, on peut prendre le cas des décès sur les routes. Pendant que dans le sud de l'Europe on se contentait de faire de l'amélioration permanente (amélioration des véhicules, suppression des points noirs...), le nord de l'Europe utilisait des méthodes qui remettaient en cause la place de l'automobile dans la société. Le résultat est patent avec un nombre de décès deux fois plus important pour ceux qui se sont contentés de faire de l'amélioration continue.

Le Kaizen, le moteur de l'amélioration continue

Attention ! La remarque précédente n'est pas une condamnation de l'amélioration continue, mais le simple constat qu'il faut tendre vers un équilibre entre les actions d'amélioration continue et les actions d'amélioration par percée. La variance globale du système (et donc son

inertie) repose sur la somme de très nombreux facteurs de variabilité tout au long du processus. Toutes les petites améliorations apportées semblent souvent insignifiantes au regard des enjeux stratégiques de l'entreprise. Pourtant, l'addition de petites améliorations, mais en nombre très important, contribue à diminuer les facteurs de variabilité du processus et agissent finalement de façon considérable sur les coûts et sur les délais.

En outre, ces petites améliorations sont souvent sans coût voire contribuent à la diminution des coûts et des gaspillages.

Le plus à même d'améliorer le poste de travail est souvent l'opérateur lui-même. C'est le principe du Kaizen : mettre en œuvre un processus d'amélioration permanente en utilisant les réflexions et les énergies de tous les personnels. « Lorsqu'on emploie un collaborateur, on emploie une force musculaire mais aussi une force intellectuelle. Si vous vous contentez d'exploiter la force musculaire, quel gâchis ! » Cette réflexion, qui nous a été faite par un responsable de l'entreprise Suzuki au Japon, est révélatrice d'une grande différence dans la façon de concevoir le rôle du personnel opérationnel entre une entreprise *Lean* et une entreprise traditionnelle.

Six sigma, le moteur de la percée

L'approche Six sigma est une approche globale de la performance industrielle et des services rendus aux clients. Partant de cette meilleure satisfaction du client, Six sigma apporte un accroissement de la rentabilité à l'entreprise avec les effets cumulés suivants :

- diminution des rebuts, retouches et plus généralement des coûts de non-qualité ;
- amélioration de la disponibilité des machines et du taux de rendement synthétique (TRS) ;
- accroissement des parts de marché consécutif à l'amélioration de la qualité des produits.

Cette approche globale de la qualité et de la performance industrielle lui donne une parfaite complémentarité avec le *Lean Management*. Six sigma se décline de plusieurs façons, c'est :

- une certaine philosophie de la qualité tournée vers la satisfaction totale du client ;
- un indicateur de performance (le z du procédé qui doit atteindre le niveau 6) permettant de savoir où se situe l'entreprise en matière de qualité ;
- une méthode de résolution de problèmes permettant de réduire la variabilité sur les produits ;
- une organisation des compétences et des responsabilités des hommes de l'entreprise ;
- un mode de management par la qualité qui s'appuie fortement sur une gestion par projet.

L'approche de résolution de problème utilisée dans Six sigma est structurée en cinq étapes :

1. **Définir.** L'amélioration par percée demande un investissement important ; on doit être capable de justifier la rentabilité d'une telle étude.
2. **Mesurer.** On ne sait rien faire si on ne sait pas mesurer. On cherchera donc à caractériser le problème par une mesure et par des relevés de données.
3. **Analyser.** Rechercher la cause racine, faire apparaître les relations de causes à effet.
4. **Améliorer.** Mettre en œuvre les actions d'amélioration et prouver que ces actions ont été efficaces.
5. **Contrôler.** Mettre en place l'ensemble des actions nécessaires pour que l'amélioration soit pérenne.

La démultiplication de l'application des démarches de résolution de problème dans l'entreprise ne peut se faire sans une organisation de gestion de projet extrêmement structurée. C'est ce que propose Six sigma avec en particulier des rôles bien déterminés, tels que :

- Le *Black Belt* (« ceinture noire ») ou animateur Six sigma qui a pour rôle de piloter le groupe de travail. Il est en général à plein temps sur des projets Six sigma.

- Le *Green Belt* (« ceinture verte ») qui anime également des projets Six sigma mais avec moins d'expérience que le Black Belt. Il n'est pas à plein temps sur des projets.
- Le *Champion* qui doit faciliter le déploiement de la philosophie Six sigma. Son rôle consiste à définir les projets, l'objectif à atteindre. Il est le référent des Black Belts.

Centrée autour des hommes auxquels on aura donné cette compétence, organisée en gestion de projet, outillée d'une méthode éprouvée de résolution de problème, l'approche Six sigma est d'une redoutable efficacité pour réaliser des percées.

La non-conformité alimente les deux moteurs de progrès : l'amélioration continue et l'amélioration par percée.

Pour être efficace, le *Lean Management* doit être doté des deux moteurs de progrès : l'amélioration continue et l'amélioration par percée. Chaque non-conformité qui apparaît dans le processus est révélatrice d'une faiblesse de celui-ci. Lorsqu'une non-conformité est mise au jour, deux principes doivent s'appliquer :

- **Principe de l'iceberg** : l'information contenue dans la non-conformité est révélatrice d'un problème sans doute beaucoup plus grave. La non-conformité visible n'est que la partie visible d'un iceberg. En quoi mon système de production a failli ? Comment faire pour que ce problème n'arrive plus ? Pour cela, on ne doit pas se contenter de « yaqua fauquon », mais on doit s'assurer de remonter à la source du problème. Lorsqu'une non-conformité apparaît, le grand maître japonais de la qualité et de la gestion de production, Ohno, qui a fait toute sa carrière chez Toyota Motors Company, et ce à partir des années 1950, préconise de se poser cinq fois la question « Pourquoi ? », afin de bien remonter à la racine du problème. Un défaut doit être paradoxalement le bienvenu car c'est une source de progrès.
- **Principe de la bougie magique** : une non-conformité est comme une bougie magique que l'on met sur les gâteaux d'anniversaire des enfants ; vous avez beau l'éteindre, elle se rallume toujours ! Pour réellement pouvoir l'éteindre, il faut aller plus loin que les actions traditionnelles, il ne suffit pas de souffler dessus. 80 % des défauts traités par les services qualité sont des problèmes récurrents. Il faut procéder à une analyse fine de chaque non-

conformité. Est-ce du domaine de l'amélioration continue, de la percée ? En quoi les modifications apportées au processus ou au produit me donnent la garantie que j'ai éteint de manière définitive la bougie ?

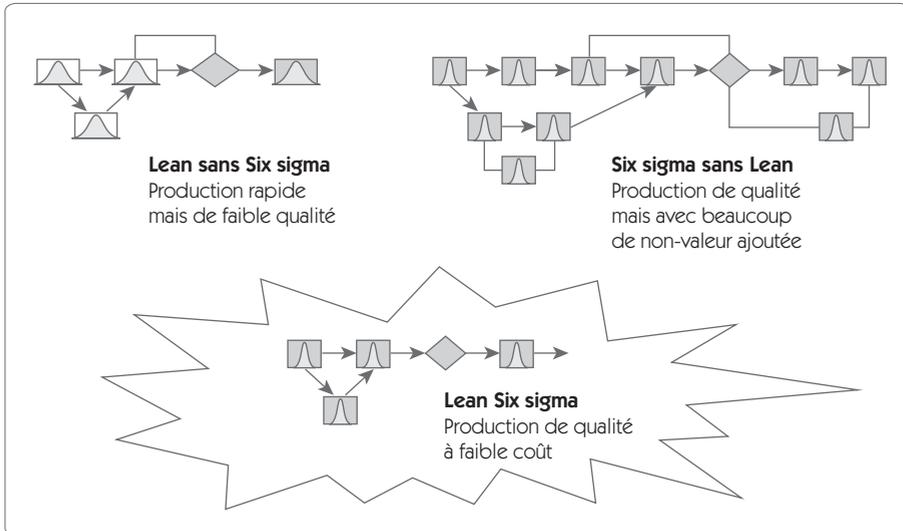
Le *Lean Management* nécessite un niveau de qualité extrêmement élevé sur les processus. On ne peut pas faire de *Lean Management* sans avoir adopté dans l'entreprise l'ensemble des méthodes et outils de la qualité³ :

- le QFD,
- l'AMDEC,
- la validation par la preuve statistique,
- la maîtrise des processus de mesure,
- la maîtrise statistique des processus...

Mais cela n'est pas suffisant car il faut sans cesse progresser quand on utilise les démarches Kaizen et Six sigma. Certaines entreprises ont adopté *Lean Six sigma* comme démarche globale. Cela consiste à adopter le *Lean Management* combiné avec la logique et la dynamique de progrès fournie par Six sigma.

3. Voir *Qualité en production*, D. DURET, M. PILLET, *op. cit.*

Figure 10.2 – Lean Six sigma



2. Les outils du *Lean Management*

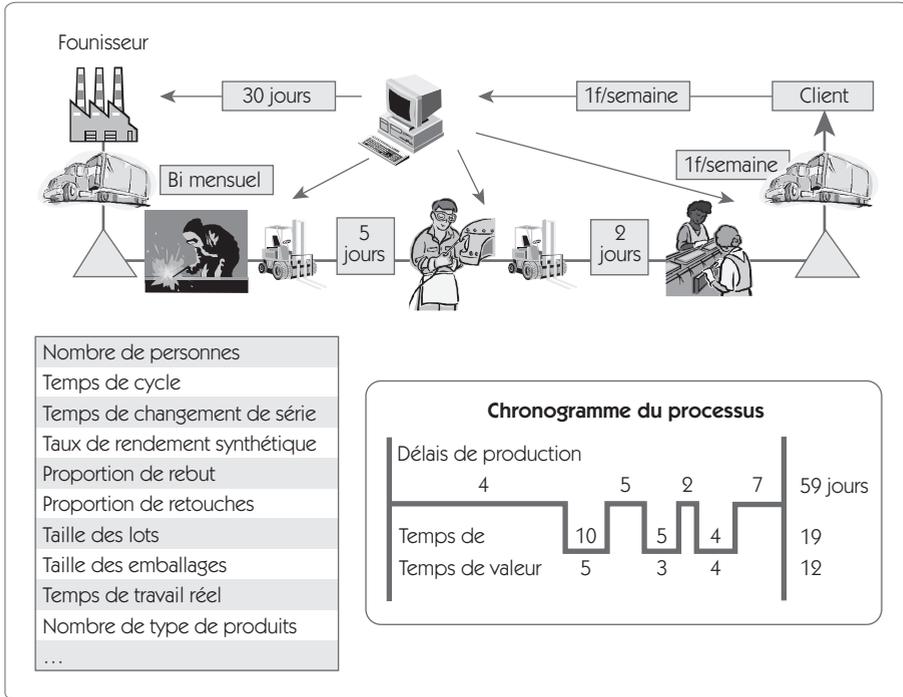
De nombreux outils du *Lean Management* ont été déjà largement commentés dans cet ouvrage et nous ne reviendrons pas dessus. On peut néanmoins citer deux outils très importants :

- L'implantation des machines organisées en cellule ou en ligne de production qui permet d'optimiser les ressources hommes et machines en minimisant les gaspillages (chapitre 2).
- Les flux tirés ou le Kanban qui contrôlent le flux des ressources dans un processus de production en remplaçant seulement ce qui a été consommé. Avec ces systèmes, les commandes des clients pilotent les programmes de production, aussi la production est-elle basée sur la demande réelle et la consommation plutôt que sur une prévision de vente (chapitre 8).

Nous détaillerons dans ce paragraphe les principales approches du *Lean Management* qui n'ont pas été détaillées dans le reste de cet ouvrage.

2.1 La cartographie du processus

Figure 10.3 – Cartographie du processus



L'amélioration d'un processus de production commence toujours par une phase d'analyse. Un excellent moyen pour y procéder est d'établir la cartographie du processus en lui assignant d'illustrer les flux physiques et les flux d'information depuis les approvisionnements en matière première jusqu'au client.

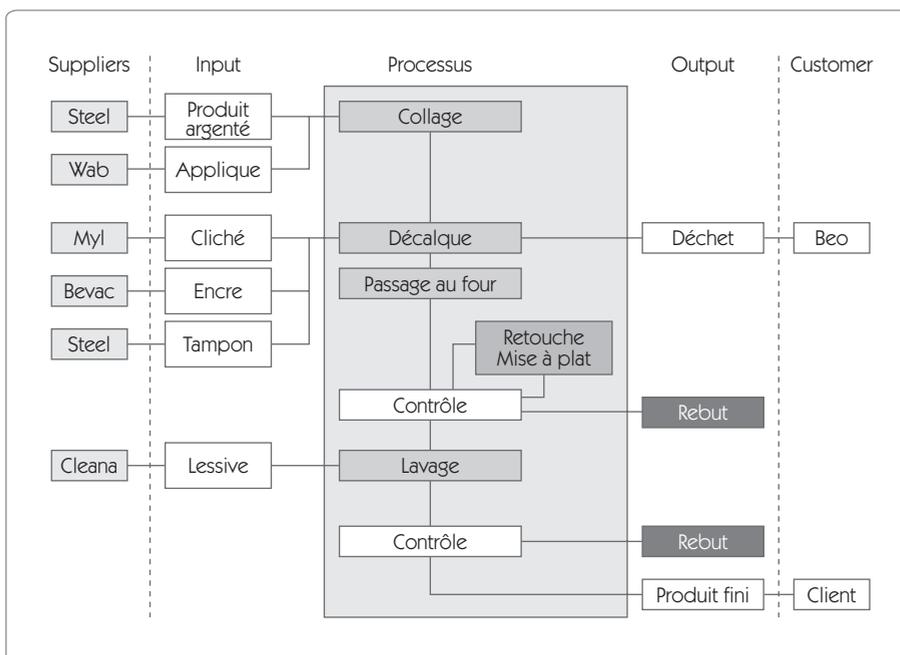
La cartographie (figure 10.3) permet de suivre l'ensemble du processus afin d'identifier tous les éléments de la performance sur chaque étape. On cherchera à identifier :

- tous les délais,
- tous les temps de cycle, de valeur ajoutée,
- tous les rebuts, retouches...
- temps de changement de séries,
- etc.

Dans le cas de processus complexes, on utilise un « traceur ». Il s'agit d'un produit que l'on suit pas à pas, depuis la commande client jusqu'à sa livraison.

Un outil très adapté pour compléter cette cartographie est le diagramme SIPOC (*Suppliers, Input, Process, Output, Customers*) qui permet de faire apparaître les flux matières et les flux d'information sur un même graphique ou sur deux graphiques séparés. La figure 10.4 montre un exemple de SIPOC flux physique dans lequel on a séparé les flux physiques et les flux d'information.

Figure 10.4 – SIPOC – Flux physiques d'un processus de production



La cartographie a pour objet d'identifier les foyers importants de perte de performance et générateurs de délais afin de parvenir à la plus grande efficacité possible dans l'action.

Le *Lean Management* dispose de bien des méthodes et outils pour éteindre ces foyers de perte de performance et accélérer le flux des produits. Citons quelques exemples :

- On a identifié un stock important devant la machine A. Ce stock a pour origine un très long temps de changement de série qui pousse à travailler par lots de taille importante. On appliquera la méthode SMED pour résoudre ce problème.
- Une machine possède un taux de rebuts très important, ce qui génère des retards et des stocks de précaution importants. On appliquera dans ce cas une approche de type Six sigma.
- Une machine souvent en panne est génératrice de retard. On appliquera les principes de la TPM (*Total Productive Maintenance*)...

La mesure du ratio d'efficacité

Le ratio d'efficacité du processus est un indicateur important de la tension des flux.

$$REP = \frac{\text{Temps d'apport de Valeur Ajoutée}}{\text{Temps total}} = \frac{12}{59 \times 24 \times 60} = 0,01 \%$$

Dans l'exemple de la figure 10.3, le produit passe 59 jours dans l'entreprise pour seulement 12 minutes d'apport de valeur ajoutée ! Cela donne une efficacité de 0,01 %, ce qui laisse une marge de progrès intéressante !

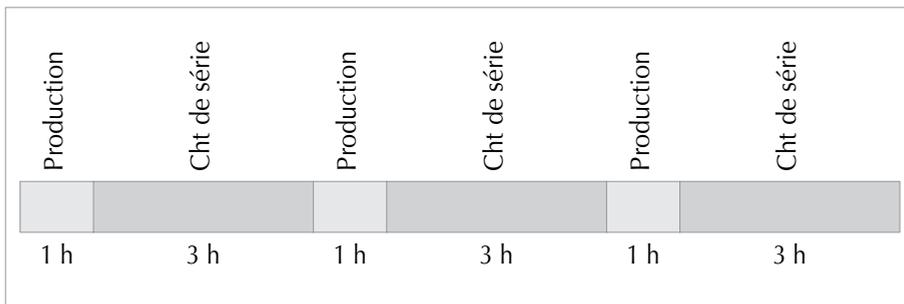
2.2 Amélioration des temps de changements de séries – Méthode SMED

SMED est l'acronyme de *Single Minute Exchange of Die*, que l'on peut traduire par « changement d'outil en moins de 10 minutes ». Cette méthode a pour objectif la réduction des temps de changement de série, en appliquant une réflexion progressive qui va de l'organisation du poste à son automatisation. L'application de cette méthode implique donc directement la fonction Méthode. Cependant, afin de faciliter les changements de séries, des modifications peuvent être apportées au tracé de la pièce. La fonction Étude est alors également concernée.

2.2.1 Introduction

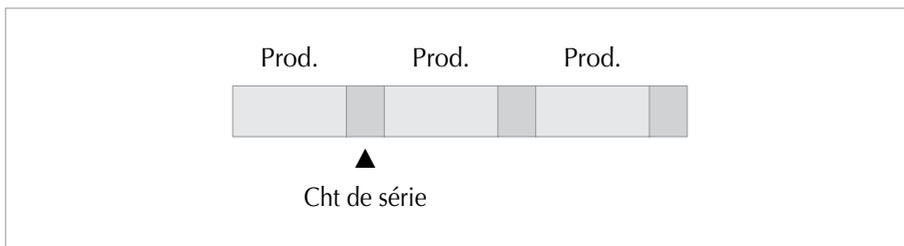
Un des obstacles principaux à la production par petits lots est le temps de changement de série. Il est en effet difficile d'envisager une production qui correspondrait au chronogramme de la figure 10.5.

Figure 10.5 – Production avec changements de séries longs



Mais il est plus facile d'envisager celle de la figure 10.6.

Figure 10.6 – Production avec changements de séries courts



Travailler en flux tendus passe donc obligatoirement par une réduction des temps de changement de séries. C'est l'objectif de la méthode SMED.

2.2.2 La méthode

La méthode SMED (inventée par Shigeo Shingo, voir ses livres *Maîtrise de la production méthode Kanban* et *Méthode SMED* aux Éditions d'Organisation) distingue, dans un changement de série, deux types d'opérations :

- des opérations internes (IED, pour *Input Exchange of Die*) qui ne peuvent être effectuées que lorsque la machine est à l'arrêt ;
- des opérations externes (OED, pour *Output Exchange of Die*) qui peuvent et doivent être effectuées pendant le fonctionnement de la machine.

Pour mettre en œuvre la méthode SMED, il faut suivre les huit points suivants :

1) Établir la distinction entre IED et OED

Observer le processus et identifier clairement quelles sont les opérations internes (IED) et externes (OED). Si l'OED est possible, il faut l'exécuter en dehors des temps de changement de série. Si l'IED est inévitable, on doit se résoudre à l'exécuter ainsi.

Cette simple distinction entre opérations externes et internes permet, par une rationalisation des opérations de changement de série, une réduction de l'ordre de 30 %, sans apporter au procédé des modifications importantes. En effet, il n'est pas rare, par exemple, que l'opérateur cherche un outillage nécessaire pour le changement de série alors que la machine est arrêtée. Cette attente inutile peut facilement être supprimée par une meilleure préparation de l'opération de changement de série.

2) Transformation des IED en OED

C'est le principe le plus efficace de la méthode SMED. Par une meilleure préparation du travail, on transforme des opérations internes en opérations externes.

Exemples

- si le préchauffage est nécessaire sur la machine, le faire en externe ;
- si une phase d'essai est nécessaire, chercher à la supprimer par une meilleure maîtrise du procédé ;
- remplacer des vissages par des clipsages plus rapides à effectuer.

3) Adoption d'une standardisation des fonctions

Pour changer rapidement de série, il faut supprimer le plus possible de réglages sur la machine ; pour cela, il est nécessaire de standardiser les fonctions qui doivent être échangées sur la machine.

Exemples

- Outils sur centre d'usinage. Il n'est plus nécessaire de changer les outils du magasin lors du changement de série.
- Dimensions standardisées des matrices sur presses.

4) Serrages fonctionnels

Exemple du boulon : le boulon est serré lorsque l'on visse le dernier filet et il est desserré lorsque l'on dévisse le dernier filet. Pourtant, il faut souvent plusieurs tours d'écrou pour arriver à fixer l'outillage, d'où une perte de temps. Il faut chercher au moyen de toutes les techniques disponibles à optimiser le temps pendant lequel la machine est arrêtée ; par exemple, se rapprocher le plus possible du concept « enclenchement de cassettes » pour l'installation de l'outillage.

5) Adoption de la synchronisation des tâches

Une mauvaise synchronisation des tâches entraîne souvent des déplacements inutiles, d'où une perte de temps. Ce souci de synchronisation peut amener par exemple un opérateur à se faire aider pendant un court instant afin qu'il n'exécute pas plusieurs fois le tour d'une machine.

6) Suppression des réglages

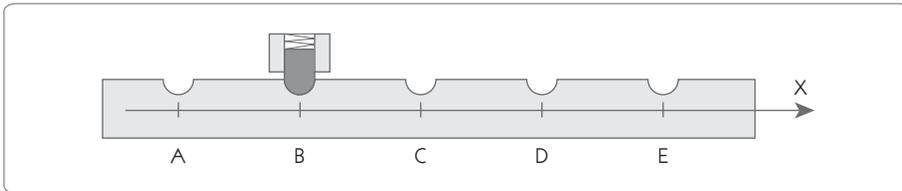
Le réglage d'une machine ne doit subsister que s'il est réellement indispensable. Souvent, celui-ci est un moyen de contourner un problème qui peut être résolu autrement.

Comment supprimer le réglage ?

- Utilisation de gabarits : les éléments sont toujours au même endroit au moment du serrage.
- Figurer les positions utiles.

Prenons comme exemple le réglage d'une position sur un axe X (figure 10.7).

Figure 10.7 – Réglage d'une position sur un axe X



La solution rapide consiste à ne pas permettre le réglage sur l'ensemble de l'axe X mais à discrétiser les positions utiles A, B, C, D, qui ne demanderont plus de réglage.

7) Adoption de la mécanisation

Ce point doit arriver en dernier car c'est le plus coûteux et pas toujours le plus efficace. Lorsque le coût de réduction des temps de changement de série devient trop important, il faut faire un calcul de rentabilité. Cependant, l'ensemble des apports structurels d'un temps de changement de série rapide reste difficilement chiffrable.

Certaines entreprises préfèrent se limiter à une diminution du temps de changement de série jusqu'à 30 à 45 minutes en raison du coût qu'il faudrait engager pour le diminuer davantage. En effet, les dernières minutes gagnées sont plus onéreuses que les premières.

2.2.3 Conclusion

La méthode SMED a permis à de nombreuses entreprises de réduire considérablement les temps de changement de séries. Couramment, des entreprises y passent de plusieurs heures à quelques minutes. Les changements les plus spectaculaires ont été obtenus sur les presses dans l'industrie automobile où on est passé de plus de 8 heures à moins de une minute pour un changement dans certaines conditions.

L'application de cette méthode est indispensable, car les longs changements de série sont des obstacles infranchissables pour fluidifier la circulation des pièces. La méthode SMED a fait place à une première évolution : la méthode OTED (*One Touch Exchange of Die*) qui consiste à limiter au maximum les interventions humaines dans le changement de série, et on se dirige actuellement vers la méthode NTED (*No Touch Exchange of Die*) qui consiste à réaliser des temps de changement apparemment nuls, en temps masqués, sans aucune intervention humaine.

2.3 TPM – Total Productive Maintenance

Le *Lean Management* cherche à éliminer les sources de pertes financières inutiles. Pour cela, il est impératif d'utiliser au maximum les capacités de l'ensemble des équipements de l'entreprise trop souvent en arrêt à cause d'aléas. TPM est un processus qui maximise la productivité des équipements. TPM crée un environnement dans lequel les efforts d'amélioration dans la fiabilité, la qualité, le coût et la créativité sont encouragés par la participation de tous les employés.

Les aléas étant souvent dus aux pannes des machines et aux problèmes de non-qualité, l'action à mener pour supprimer ces aléas concernera donc principalement la fonction Maintenance et la fonction Qualité.

2.3.1 Le TRS, une mesure de la performance du poste de travail

Pour mesurer la performance du poste de travail, on dispose d'un indicateur très efficace : le TRS (pour Taux de Rendement Synthétique). Cet indicateur établit le ratio entre le temps réellement utile d'utilisation d'un moyen de production et le temps utilisé. Plusieurs formules permettent de calculer le TRS selon les données le plus facilement accessibles dans l'entreprise. Voici celle qui est le plus souvent utilisée :

$$TRS = \frac{\text{Nombre de pièces fabriquées bonnes}}{\text{Temps d'ouverture} \times \text{cadence nominale}}$$

Exemple de calcul

Un poste a été ouvert 70 heures sur la semaine et a réalisé 555 pièces.

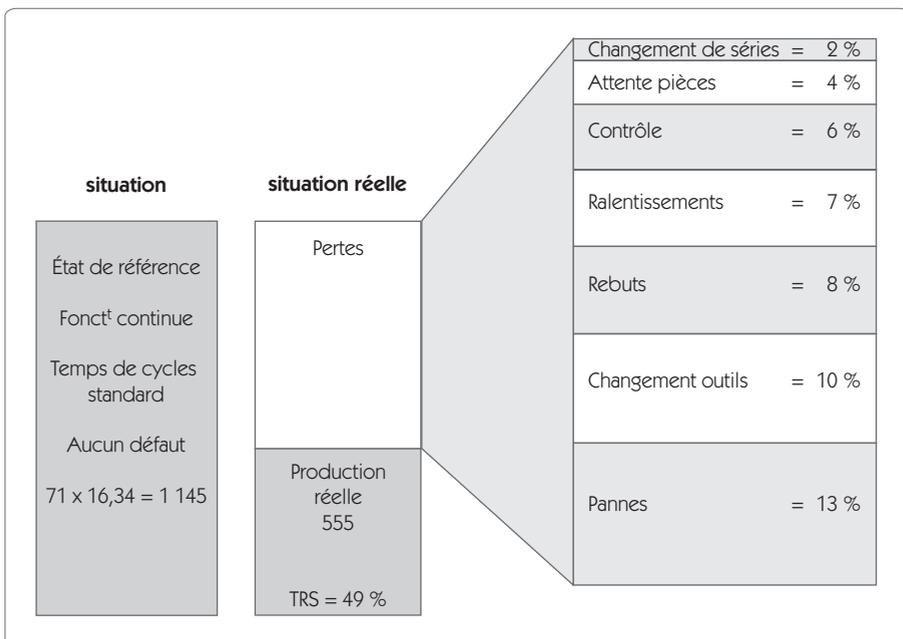
Le temps gamme d'une pièce est de 612 DMH (dix millièmes d'heure).

La cadence nominale = $1/0,0612 = 16,34$ pièces par heure

$$TRS = \frac{555}{70 \times 16,34} = 0,485$$

Un TRS de 48,5 % est extrêmement pénalisant pour la compétitivité des entreprises et traduit une forte déficience dans l'organisation. La première étape consiste à déterminer quels sont les foyers de perte de rendement. Pour ce faire, on cherche à identifier toutes les causes d'arrêt pour parvenir au graphique de la figure 10.8 qui permettra de décider des actions d'amélioration le plus efficaces.

Figure 10.8 – Décomposition du TRS



2.3.2 Le problème

Lorsque l'on doit travailler sur une machine qui n'est pas très fiable, il faut prévoir une panne éventuelle. À cette fin, le plus simple est de constituer un stock qui permettra de ne pas arrêter la production en aval en cas d'arrêt de la machine.

De même, lorsqu'une production possède un taux de rebut, les ordres de fabrication tiennent compte de celui-ci, et sont donc légèrement gonflés par rapport aux besoins réels.

Les pannes et la non-qualité forment ce que l'on appelle les aléas de production. On vient de voir que les aléas de production génèrent des stocks, donc des délais excessifs, et il en résulte des surcoûts de production.

Il est donc indispensable de s'attaquer aux aléas de production afin de « fluidifier » l'écoulement des produits.

2.3.3 Diminution du taux de panne

Les pannes des machines augmentent avec la sophistication des matériels considérés. En effet, l'artisan qui n'utilise que quelques outillages à main est relativement peu concerné par le problème des pannes. En revanche, une chaîne d'assemblage qui comporte de très nombreux systèmes sophistiqués pose souvent de gros problèmes de fiabilité.

En effet, même si le taux de fonctionnement de chaque système est voisin de 99 %, il suffit souvent d'un système en panne pour bloquer l'ensemble de la ligne de production. Le taux de fonctionnement diminue alors de façon vertigineuse. Si l'on prend par exemple 20 systèmes en série, le taux de fonctionnement devient alors :

$$0,99 \times 0,99 \times \dots \times 0,99 = 0,99^{20} = 0,82 !$$

Ainsi, il n'est pas rare que des usines présentent un taux d'immobilisation moyen de l'ensemble des équipements voisin de 50 %, surtout dans les phases de démarrage. On imagine alors l'ensemble des gains de capacité que pourrait apporter une amélioration de ce taux.

Les deux causes principales d'un taux d'immobilisation important pour cause de pannes sont les suivantes :

- manque de fiabilité des machines (il s'exprime par une fréquence élevée de pannes) ;
- maintenabilité insuffisante (elle s'exprime par de longs délais d'arrêts de la production).

Le manque de fiabilité

Le manque de fiabilité est parfois dû à une mauvaise conception de la machine. Pour éviter de tels déboires, il convient de prendre un certain nombre de garanties dès l'investissement initial. Cependant, lorsque la machine est achetée, il faudra améliorer ses points faibles, mettre en place des systèmes de régulation et de surveillance.

Le manque de fiabilité peut également être dû à la façon dont on utilise la machine. Est-elle adaptée au travail qu'on lui demande ? Est-elle adaptée au milieu dans lequel elle évolue ?

On peut citer par exemple les problèmes de fiabilité qui ont été rencontrés lorsque l'on a voulu placer des ordinateurs dans les ateliers.

La façon dont on entretient une machine peut aussi occasionner un manque de fiabilité. Dans un atelier très propre, les machines sont nettoyées et on évite ainsi les problèmes de copeaux qui se coincent ou de poussière qui rentre dans une règle.

La maintenabilité insuffisante

Ces dernières années, les entreprises ont pris conscience du problème de la maintenance. Auparavant, il était courant que l'on attende qu'une machine tombe en panne pour la réparer. Cette méthode a généralement pour conséquence, au mieux, un temps d'immobilisation important et, au pire, une sur-panne.

Exemple de sur-panne : un niveau d'huile n'est pas vérifié, entraînant la dégradation d'un roulement.

Il existe deux types de maintenance : curative ou préventive.

Maintenance curative (accidentelle et trop courante)

Hormis les graissages, elle consiste essentiellement à attendre la panne pour réparer.

Exemple : on change l'embrayage lorsqu'il patine, on règle le moteur lorsqu'il ne démarre que difficilement...

Maintenance préventive

Elle consiste à effectuer des interventions en vue d'éviter les pannes. Elle peut se faire de façon *systématique* ou *prédictive*.

Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive *systématique* consiste à changer des éléments et à remettre à neuf la machine. Ces interventions ont lieu après une période de fonctionnement (exemple : 6 mois), cette période étant déterminée d'après les statistiques des pannes antérieures.

Exemple : on change l'embrayage tous les 100 000 km, le moteur est réglé tous les 15 000 km.

Maintenance préventive prédictive

On cherche par cette méthode à éviter les changements superflus de pièces. Pour cela, il faut suivre de façon régulière l'équipement afin d'identifier les dégradations et de prédire les interventions. Le suivi s'effectue par « auscultation de la machine », de type mesure des taux de vibration, des débits, des couples etc.

Exemples : on établit l'usure de l'embrayage par mesure de l'avance du système de rattrapage automatique, on vérifie les réglages moteurs en vérifiant le ralenti et la teneur des gaz d'échappement.

De ces deux types de maintenance, le préventif /prédictif est souvent le plus économique. Cependant, il ne peut pas toujours être mis en œuvre et se révèle quelquefois plus onéreux que le préventif. Il faut donc considérer que les maintenances préventives et prédictives sont complémentaires, et qu'elles doivent être mises en œuvre dans le but de supprimer la maintenance curative.

Démarche

Pour améliorer la fiabilité d'une machine, il faut d'abord bien connaître les incidents qui se produisent sur la machine. À cette fin, il faudra mettre en place un système de suivi.

De plus, une action de maintenance ne peut pas se faire sans une implication de l'opérateur qui devra :

- effectuer les opérations simples de maintenance (dites de premier niveau) ;
- assurer la propreté de la machine ;
- se sentir « responsable » du bon fonctionnement de sa machine.

La TPM implique donc un travail important de formation et de sensibilisation des opérateurs, qu'il ne faut pas négliger et qui peut être source de beaucoup d'améliorations au sein des ateliers et de la production.

Les causes de défaillance les plus fréquentes devront être supprimées.

Pour étudier les défaillances des machines, la méthode AMDEC (Analyse des *modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités*) se montre très efficace.

2.4 La maîtrise de la qualité des processus

Le bon sens suffit pour comprendre qu'un produit de qualité apporte un gain considérable de compétitivité. La qualité permet de fidéliser une clientèle, de diminuer les coûts de production, en supprimant les dépenses supplémentaires occasionnées par la non-qualité. Elle réduit les coûts de garantie et de service après-vente.

Les problèmes de non-qualité sont sources d'aléas de production :

- stockages excessifs pour parer à un éventuel défaut ;
- retard de livraison à cause d'un lot à trier ;
- démontage de produits finis en cas de détection tardive de défaut...

La maîtrise de la qualité des processus est un élément essentiel qui s'appuie sur des aspects statique et dynamique :

- un aspect statique qui consiste à formaliser la connaissance et les méthodes de pilotage des processus ;
- un aspect dynamique qui consiste à mettre en œuvre des démarches d'amélioration continue ou par percée.

2.4.1 Aspect statique de la maîtrise des processus

L'aspect statique concerne l'ensemble des règles permettant de formaliser le savoir-faire. Les principaux composants de l'aspect statique seront :

- la capitalisation du savoir-faire au travers de documentations et de règles de pilotage ;
- l'utilisation de la maîtrise statistique des processus qui est le seul outil permettant de garantir la stabilité du processus⁴ ;
- la standardisation de tous les processus répétitifs.

La capitalisation du savoir-faire

Devant un poste de travail, on doit notamment se poser la question suivante : « Quelles sont les choses importantes à mémoriser de ce poste de travail pour garantir la qualité de la production ? » Cette capitalisation doit concerner le séquençement des opérations nécessaires, mais aussi les règles de réaction face aux problèmes. En général, on concrétise cette capitalisation au travers de documents disponibles sur le poste de travail. Ces documents ne sont pas exhaustifs, ils visent à assurer la continuité du savoir-faire dans trois situations principales :

- l'arrivée d'un nouveau collaborateur ;
- la reprise d'une tâche après un temps d'arrêt important ;
- l'audit pour garantir que le processus ne dérive pas.

La standardisation

Tout ce qui permet la flexibilité est bon. On doit privilégier la rotation du personnel dans tout l'atelier. Il doit pour cela y avoir une standardisation de tous les processus répétitifs. Le standard doit être la règle, il doit être publié. Par exemple, le traitement des produits non conformes doit être identique sur tous les postes de travail ; la couleur rouge est réservée aux contenants destinés à recevoir des produits non confor-

4. Voir *Appliquer la maîtrise statistique des procédés*, M. PILLET, Éditions d'Organisation, 2001.

mes. Cette standardisation qui n'empêche pas pour autant l'amélioration évite de commettre de très nombreuses erreurs. Elle doit concerner autant les procédures que les systèmes physiques.

La maîtrise statistique des procédés (MSP)

La maîtrise statistique des processus permet de garantir la stabilité de ces derniers. En dissociant les variations aléatoires du processus dont les origines multiples sont appelées « causes communes » et les variations qui méritent une intervention sur le processus dont l'origine est appelée « cause spéciale », la MSP est sans équivalent en matière d'aide au pilotage des moyens de production. Les deux éléments de base de la MSP sont :

- l'étude des capacités qui permet de caractériser l'adéquation entre la dispersion du procédé et les spécifications de la caractéristique ;
- les cartes de contrôle qui sont des outils graphiques permettant de décider si le procédé nécessite ou non une intervention.

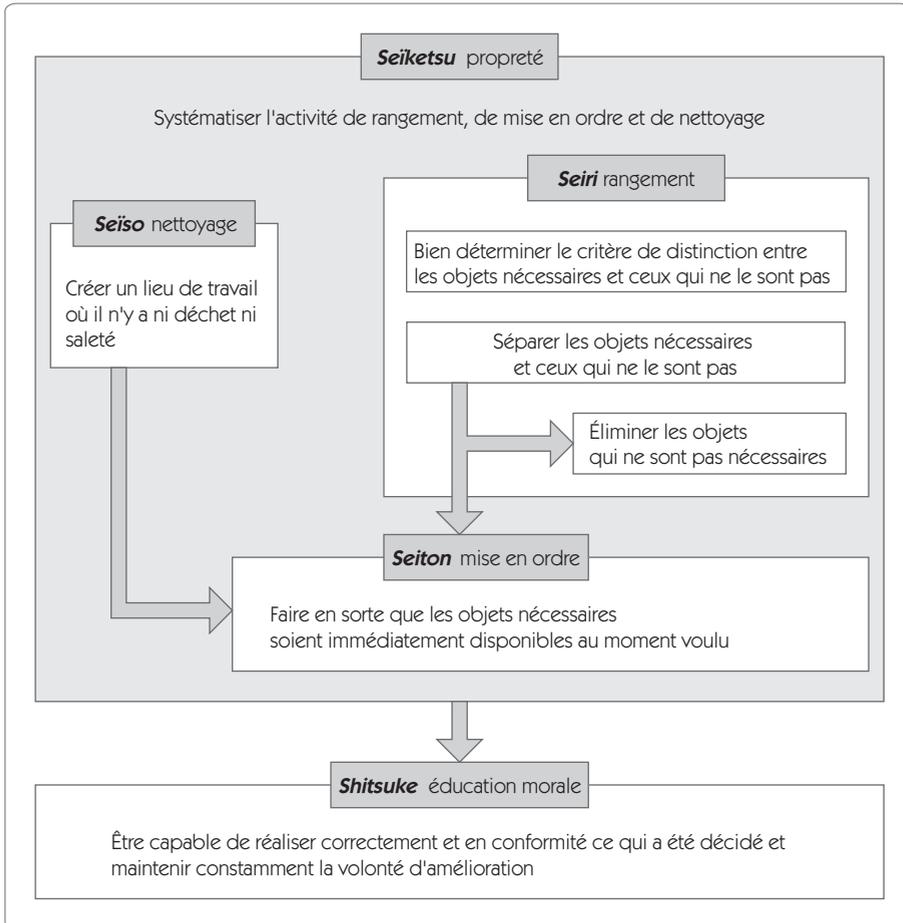
2.4.2 Aspect dynamique de la maîtrise des processus

Limiter la maîtrise des processus au seul aspect statique serait contraire à la règle de l'amélioration permanente des procédés. Aussi, on doit mettre en place une dynamique de progrès permettant de faire progresser le poste de travail, les procédures de pilotage et de suivi, d'enrichir la capitalisation des connaissances et de faire évoluer les standards de l'entreprise. Cet aspect dynamique doit être organisé selon les deux axes évoqués au paragraphe 1.2.5, « Gestion de la qualité », de ce chapitre :

- l'amélioration continue,
- l'amélioration par percée.

2.5 Les 5 S

Figure 10.9 – Campagne 5 S



Les 5 S représentent le préalable au juste-à-temps ou plus généralement au *Lean Management*. Les industriels japonais ont coutume de dire que toute action de juste-à-temps doit commencer par au moins deux ans de campagne 5 S. Les cinq S sont les cinq initiales de mots japonais qui ont pour objectif de systématiser les activités de rangement, de mise en ordre et de nettoyage dans les lieux de travail. De

plus, la démarche 5 S met tout en œuvre pour maintenir et améliorer l'état actuel de la situation. Ces mots commençant par S sont les suivants :

- *SEIRI* – Rangement,
- *SEITON* – Mise en ordre,
- *SEÏSO* – Nettoyage,
- *SEÏKETSU* – Propreté,
- *SHITSUKE* – Éducation morale.

La finalité de la méthode est d'améliorer :

- la qualité des pièces produites,
- la sécurité,
- l'efficacité,
- le taux de pannes.

La figure 10.9 indique les grandes étapes d'une démarche 5 S. Cette figure est la traduction littérale d'une affiche que nous avons vue dans plusieurs usines japonaises lors d'une visite. Il ne s'agit pas de la francisation de la campagne.

Une campagne 5 S s'articule autour de deux phases :

1. Mise à niveau
 - a. *Seiri*,
 - b. *Seiton*,
 - c. *Seïso*.
2. Maintien de l'acquis
 - d. *Seïketsu*,
 - e. *Shitsuke*.

1. Mise à niveau

a) **SEIRI** : rangement, trier l'utile et l'inutile

Cette étape consiste à faire le tri entre les objets nécessaires et les objets inutiles sur le poste de travail. La manie d'accumuler et de garder « parce que cela peut servir » ne favorise pas la propreté et l'efficacité d'une recherche.

En général, on utilise un système de classification du type ABC :

- A = usage quotidien,
- B = usage hebdomadaire ou mensuel,
- C = usage rarissime.

Cela permet de déterminer ce qui mérite effectivement d'être au poste de travail, ce que l'on peut éloigner et ce dont il faut se débarrasser.

Cette première étape doit être visible sur le poste de travail.

Souvent dans les premières phases de mise en place de la méthode, il est difficile de faire comprendre aux opérateurs la nécessité de se séparer d'un certain nombre d'éléments. C'est la raison pour laquelle on voit souvent apparaître sur les chantiers pilotes de type 5 S des ZAD (Zones en attente de décision) qui vont regrouper tous les éléments qu'on n'a pas encore décidé d'éliminer mais qui ne sont plus rangés sur le poste et dont l'inutilité va devenir assez vite évidente puisqu'on n'ira pas les chercher dans la ZAD... Cette ZAD a une importance psychologique intéressante sur les postes de travail alors qu'il s'agit de ne pas frustrer les opérateurs dans les premières phases de mise en place de la méthode, au cours desquelles ils ne sont pas encore complètement convaincus par celle-ci !

b) **SEITON** : mettre en ordre, réduire les recherches inutiles.

Le Seiton s'illustre par le proverbe : « Une place pour chaque chose et chaque chose à sa place. » Dans cette étape, on cherchera à organiser le poste de travail de façon fonctionnelle et à définir des règles de rangement de façon à trouver immédiatement les outils nécessaires. L'objectif est de pouvoir ranger et retrouver en 30 secondes documents et outils usuels.

Le *Seiton* peut par exemple consister à peindre les sols afin de pouvoir visualiser aisément les saletés, délimiter visuellement les aires de travail, ombrer les emplacements d'outils sur les tableaux... Dans les bureaux, on pourra également équiper les tiroirs des bureaux de panneaux en mousse découpés afin, par exemple, de repérer immédiatement l'emplacement de l'agrafeuse. On va également définir des règles d'organisation des répertoires sur un disque dur afin de retrouver rapidement une information.

c) *SEISO* : le nettoyage régulier.

Les deux premières étapes ont permis de parvenir à une organisation rationnelle du poste. Comme l'indique la figure 10.9, l'étape *Seiso* n'est pas séquentielle par rapport aux deux précédentes, mais commence en parallèle. Dans un environnement propre, une fuite ou toute autre anomalie se détecte plus facilement et plus rapidement. Le nettoyage régulier est une forme d'inspection. Il sert aussi à contrôler l'état de fonctionnement des machines. Ainsi, le manque d'huile, les boulons mal serrés, les pièces présentant une usure précoce, sont autant d'anomalies que peut révéler cette simple inspection de routine. On doit identifier et si possible éliminer les causes de salissures, définir ce qui doit être nettoyé, mais aussi les moyens d'y parvenir et la fréquence de nettoyage.

2. Maintien

d) *SEIKETSU* : propreté, conserver propre et en ordre

Il est aisé d'appliquer ponctuellement les 5 S. En faire une habitude est plus difficile. Pour cela, il faut formaliser les règles et définir des standards avec la participation du personnel. Cette appropriation permet plus facilement par la suite de faire appliquer et respecter les règles établies aux trois étapes précédentes. L'étape *Seiketsu* doit permettre d'éviter de retourner aux vieilles habitudes. On peut prendre l'exemple d'une famille de cinq personnes : si chacun pose ses chaussures et son manteau de façon aléatoire dans l'appartement, très vite le désordre s'installe. Les trois premières règles auront permis de définir un placard bien positionné dans l'appartement pour ranger facilement vestes et chaussures. De même, le *Seiketsu* consistera à définir les règles de rangement et à les faire respecter.

e) **SHITSUKE** : suivi de l'application

Cette dernière étape va principalement consister à établir un suivi de l'application de l'ensemble des règles et décisions qui ont été prises lors des quatre premiers S. Elle servira également à alimenter le processus d'amélioration continue (Kaizen) en modifiant et en faisant évoluer le processus lorsque cela est nécessaire.

On procède à cette étape à base d'auto-évaluation afin de promouvoir un esprit d'équipe. Pour garantir sa pérennité, un certain nombre de points devront être réalisés :

- instaurer des règles de comportement à l'aide de la communication visuelle et de la formation ;
- vérifier que chacun participe, agit, se sent concerné et prend conscience de sa responsabilité en regard de la tâche qui lui incombe.

Mise en place du 5 S

La mise en place des 5 S doit se traduire par l'implication de tous les membres du groupe. Elle ne peut donc pas être réalisée sans un travail de groupe.

Généralement, on réalise sa mise en place en procédant comme ceci :

1. Motiver l'encadrement.
2. Former le personnel à la méthode.
3. Faire un état des lieux général.
4. Choisir une zone pilote.
5. Mettre en place un comité de pilotage.
6. Former le groupe de travail pilote.
7. Mettre en place un « tableau 5 S ».
8. Démarrer le travail de groupe.
9. Mettre en œuvre les 5 étapes.
10. Généraliser à d'autres chantiers.

2.6 Relations avec les fournisseurs et les sous-traitants

2.6.1 Les problèmes

Une entreprise possède généralement un grand nombre de fournisseurs. Les relations entre clients et fournisseurs ne sont pas toujours des relations de confiance, mais plutôt de méfiance. L'entreprise cherche à avoir de nombreux fournisseurs pour obtenir par le biais de la concurrence des prix qui soient le plus bas possibles et, en cas de grève, une sûreté de livraison des produits. De l'autre côté, le fournisseur qui n'est jamais sûr d'avoir des commandes régulières de la part de son client hésite à investir pour une amélioration de la qualité d'un produit particulier.

- Les relations « classiques » fournisseurs-clients entraînent souvent des problèmes de qualité.

On règle souvent ces problèmes par un important dispositif de contrôle de réception. Les pièces, qui parviennent du sous-traitant, sont stockées, contrôlées par échantillonnage, puis stockées à nouveau. Il faut donc souvent plusieurs jours pour que les pièces soient disponibles.

- Les délais sont longs.

Lorsque les fournisseurs sont éloignés de l'entreprise, les livraisons des pièces sont souvent espacées afin de minimiser les frais de transports. Et, pour ne pas être en rupture de stock, l'entreprise prend un stock de sécurité d'autant plus important que la fréquence des livraisons est faible.

- Les stocks sont gonflés.

Problèmes de qualité, délais importants, stocks gonflés, on voit à nouveau apparaître les dysfonctionnements classiques de production. Il faut donc établir de nouvelles relations avec les fournisseurs.

2.6.2 Les nouvelles relations avec les fournisseurs

Pour éviter les problèmes qui viennent d'être énumérés, il est indispensable que l'entreprise établisse de nouveaux rapports avec ses fournisseurs. Ces nouvelles relations vont impliquer directement les fonctions Achat, Réception et Gestion de la production.

Créer des relations privilégiées avec certains fournisseurs

Toute entreprise souhaite que les composants livrés par ses fournisseurs soient conformes au cahier des charges, avant de les introduire dans sa fabrication. Si elle désire se débarrasser des coûteux contrôles de réception, il faut qu'elle travaille en « Assurance qualité » avec ses fournisseurs.

Le processus mis en œuvre pour la réalisation d'un produit doit garantir sa qualité. On n'y parvient qu'en élaborant une procédure de mise sous contrôle de la fabrication. Le fournisseur du composant ne peut mettre en place ces méthodes que s'il a la garantie d'avoir à fabriquer des pièces pendant une durée suffisamment longue.

L'entreprise devra donc créer des relations privilégiées avec certains fournisseurs qui devront en échange garantir une qualité sur les produits fournis.

Accroître la fréquence des livraisons

Pour diminuer les stocks de sécurité, il est indispensable d'accroître la fréquence des livraisons. Cette méthode est théoriquement facile à mettre en œuvre lorsque les fournisseurs ne sont pas trop éloignés de l'entreprise. Pourtant, elle se heurte à un problème important : l'augmentation de la fréquence des livraisons amène le fournisseur à livrer des quantités de produit plus faibles. Si ce dernier continue à fabriquer par séries importantes, ce nouveau rapport client-fournisseur va conduire à un stockage reporté chez le fournisseur. Le problème n'est donc pas réglé, mais déplacé.

Il faut donc que les efforts de l'entreprise en vue d'une réduction de la taille des lots se traduisent par le même effort chez le fournisseur, et ainsi de suite dans toute la chaîne...

L'accroissement de la fréquence des livraisons ne doit pas se réaliser au détriment du coût des pièces. Il faudra donc probablement revoir toute la logistique de transport afin de créer des « tournées » optimisées de ramassage de pièces, ainsi que des lieux de concentration dans le cas où plusieurs fournisseurs d'une même région seraient éloignés de l'entreprise.

Intéresser le fournisseur à la marche de l'entreprise

Le fournisseur doit se sentir concerné par le fonctionnement de l'entreprise cliente. Une bonne méthode consiste à organiser des journées fournisseurs pendant lesquelles seront rendus publics les objectifs de la société.

Travailler en commandes ouvertes

Lorsque de nouvelles relations sont établies entre fournisseurs et demandeurs, le principe de la commande ouverte peut être mis en œuvre. Pour le donneur d'ordre, cela consiste à ne plus passer par le service Achat à chaque commande, mais à considérer le sous-traitant comme un élément de sa propre entreprise. Dans une enveloppe convenue par contrat et avec des prévisions de quelques semaines, ce sont directement des confirmations de livraisons fermes qui sont envoyées au sous-traitant (le total des commandes est réalisé en fin d'exercice). Cette méthode permet au sous-traitant d'avoir accès aux prévisions des ventes de son donneur d'ordre et ainsi de mieux ajuster ses plannings de production. Le circuit administratif est plus court, ce qui améliore encore les délais.

Beaucoup d'entreprises n'ont pas encore compris l'enjeu d'un vrai partenariat avec leurs fournisseurs et en particulier les fournisseurs de pièces stratégiques, et c'est vraiment dommage. Si on travaille main dans la main avec son fournisseur, on travaille directement pour soi...

Le développement des nouveaux systèmes de communication donne lieu, depuis peu, à nombre d'expériences. En particulier, des achats sont réalisés grâce au système des enchères, où chaque fournisseur a un temps très court pour se montrer le plus performant sur la réalisation d'un composant ou d'un sous-ensemble particulier. Ce système conduit à choisir un fournisseur souvent inconnu de l'entreprise

qui prétend proposer le meilleur « package » prix-délai-performance-technique-qualité... Est-ce avéré ? Pas toujours ! L'entreprise est souvent déçue des conséquences !!!

Rien ne vaut, surtout pour les composants stratégiques, un vrai partenariat avec les fournisseurs, dans lequel l'échange véritable s'établit sur du long terme et sur des relations solides.

3. Les changements de culture liés au *Lean Management*

3.1 La problématique du changement

Aujourd'hui, la plupart des entreprises ont véritablement pris conscience de la richesse représentée par le capital humain. Le principal atout, l'élément déterminant de la réussite, c'est l'homme.

Il y a quelques années, on prédisait des usines totalement automatisées, intégrées et déshumanisées. On reconnaît depuis qu'une usine sans homme ne peut pas progresser, ne peut pas évoluer, puisque seul l'homme est source de remise en cause et d'amélioration.

Par ailleurs, la plupart des outils développés dans le cadre du *Lean Management* requièrent autonomie, flexibilité, formation, motivation, polyvalence et polytechnicité, mobilité et efficacité du groupe de travail ; autant d'éléments indispensables, mais éloignés d'une manière traditionnelle de la culture d'entreprise occidentale.

Faire du *Lean Management*, c'est devenir sportif et rester sportif. Cela demande un changement profond des usages et des mentalités. Pour rester en forme, il faut préparer l'entreprise à s'accommoder d'un entraînement quotidien et d'une remise en question permanente comme le font les grands champions. Une victoire aujourd'hui ne donne aucune garantie de victoire demain.

3.2 Les facteurs du changement

Le point de départ du changement se situe au niveau de la stratégie de l'entreprise. Nous sommes fréquemment étonnés de devoir constater à quel point la stratégie d'une entreprise est méconnue de la plupart de ses propres acteurs. Or, pour être efficace, le *Lean Management*, en particulier, doit se décliner en objectifs de moyen et court terme compréhensibles et réalisables par tous. Comment peut-on raisonnablement demander à quelqu'un de prendre des décisions, de faire des choix efficaces, s'il ne sait pas où il doit aller ?

Par ailleurs, pour obtenir la participation active de chacun, il faut créer dans l'entreprise un climat social qui incite à cela.

3.2.1 La communication

On constate souvent que la circulation de l'information est défaillante dans l'entreprise. Certains sont assaillis d'informations qu'ils ne comprennent pas toujours, d'autres au contraire en manquent.

Il faut chercher à développer les conditions d'un système de communication écrit, visuel et oral efficace. La communication doit être « professionnelle et productrice de valeur ajoutée », comme le précise O. Gélilier dans son ouvrage *Stratégie de l'entreprise et motivation des hommes*.

3.2.2 La formation

Dans l'entreprise, on recherche des personnes polyvalentes, flexibles et autonomes. Pour y parvenir, la formation est un atout essentiel, une formation pertinente qui engendre une modification des comportements.

L'entreprise est tenue de consacrer une partie de sa masse salariale à la formation. Il faut la dépenser utilement et sans doute aller au-delà. Les entreprises sont amenées à engager un vaste plan de formation du personnel qui dépasse largement le simple apprentissage des techniques de maintenance ou de qualité, mais qui vise à augmenter le niveau moyen de culture générale de l'entreprise. C'est au prix d'un investis-

sement dans « l'intelligence » que l'on pourra demander aux opérateurs une plus grande polyvalence et un enrichissement de leurs tâches.

Un management *Lean* doit développer une culture d'ouverture d'esprit et de remise en cause permanente : « J'apprends toujours et j'ai plaisir à apprendre. »

3.2.3 La motivation

C'est le véritable catalyseur de l'action ; c'est donc une composante déterminante du changement de culture dans l'entreprise. Hélas, les acteurs de l'entreprise ne se réveillent pas le matin en découvrant qu'ils sont motivés ! La motivation se crée, se travaille et s'entretient. Nombre d'entreprises, quand elles détaillent les étapes du *Lean Management*, soulignent la phase : mise en place du management motivationnel. Cette idée, développée par de nombreux cabinets-conseils, a aujourd'hui tendance à s'élargir. On considère qu'il ne suffit plus d'être motivé, il faut être impliqué et s'engager dans les projets de l'entreprise. Une anecdote qui circule dans le milieu des spécialistes de gestion de production et de qualité permet de comprendre toute la différence entre implication et engagement. Nous la livrons telle quelle : dans un œuf au bacon, la poule n'est impliquée que par le biais de l'œuf alors que le porc est engagé puisqu'il est dedans... Sans tirer toutes les conclusions de cette boutade, nous pensons néanmoins que si une masse critique de personnes était suffisamment motivée, tous les phénomènes de résistance aux changements, d'immobilisme, d'inertie, forts générateurs de problèmes, seraient évités.

L'esprit d'équipe

Pour être réactif, il faut créer un véritable « esprit d'équipe ». Dans une entreprise *Lean*, chacun a son rôle mais on n'enferme pas les gens par une définition de fonction trop stricte. On doit créer un esprit d'équipe à l'image d'une équipe de football dans laquelle les avants n'hésitent pas à couvrir le terrain pour suppléer une faiblesse passagère des lignes arrière. On le sait bien, le résultat de l'équipe n'est pas la somme des valeurs individuelles mais la somme multipliée par un coefficient

d'unité d'équipe. Ce coefficient peut être largement supérieur à 1 dans le cas d'une dynamique réussie, mais il peut également être très sensiblement inférieur à 1.

Cet état d'esprit se traduit également dans la notion de progression qui est souvent comprise au sens occidental comme une progression hiérarchique. Dans un groupe *Lean*, on cherche à responsabiliser l'équipe. La progression s'entend par différentes évolutions sur le poste de travail :

- Moyen de production – prise en charge d'un ensemble plus important de tâches de réglage, de maintenance.
- Qualité – passer d'un simple respect de consignes à un pilotage de la qualité et à l'amélioration du système de production.
- Environnement – participation active à la recherche d'un cadre de travail plus attractif.
- Résolution de problème – passer d'une position passive face aux problèmes, à une véritable participation dans le groupe, à des démarches de résolution de problèmes et d'amélioration de la performance industrielle.

3.2.4 Communication, formation, motivation, comment faire ?

Le changement de culture passe par la recherche constante de méthodes pour améliorer la communication, la formation et la motivation. Cela se traduit souvent par :

- La création de groupes de travail à tous les niveaux hiérarchiques pour faire avancer des problèmes précis, avec des responsables d'actions qui seront menées à des instants précis.
- L'amélioration des conditions de travail à tous points de vue.
- Le soutien permanent et la reconnaissance des efforts de chacun.
- La formation de personnes de l'encadrement au rôle d'animateurs pour maintenir un esprit Kaizen (processus continu d'améliorations) permanent.
- Le fait de se donner les moyens de faire vivre et survivre les projets qui voient le jour dans l'entreprise.

- Le fait d'introduire une discipline de travail dans l'entreprise. La campagne des 5 S est sans doute un bon exemple à ce sujet.
- Le fait de prendre en considération les éléments économiques pour savoir jusqu'où on peut et on doit aller.

Les éléments que nous venons de présenter n'ont d'autre objet que de donner une idée de la direction à prendre.

4. Conclusion

L'ensemble des aspects du *Lean Management* que nous avons décrits dans ce chapitre donne la dimension d'une telle approche de la performance industrielle. Il s'agit dans un premier temps de définir une stratégie claire et de la déployer dans tous les secteurs de l'entreprise au travers de méthodes, d'outils, mais également, et c'est peut être cela le plus important, d'une certaine culture de l'entreprise.

La recherche de l'excellence pour le client est la finalité du *Lean Management* ; c'est cette recherche d'excellence qui permet à l'entreprise de continuer à prospérer dans un monde où tout évolue.

Chapitre 11

La mesure de la performance du système de production

1. Les limites des systèmes de mesure traditionnelle

1.1 Introduction

La production et la gestion de production ne peuvent se passer de mesures. On produit pour des raisons économiques et on gère également pour des raisons économiques.

Tant la manière de produire que la manière de gérer la production ont considérablement évolué au cours de ces dernières années. Mais les outils de mesure et de pilotage de la production, quant à eux, n'ont pas toujours suivi cette évolution.

Plus de 80 % des entreprises françaises ont encore aujourd'hui une comptabilité analytique fondée sur la méthode des sections homogènes. Cette méthode a été développée chez Dupont de Nemours au début du siècle, en 1910 précisément. Il est d'ailleurs intéressant de constater que l'un des principaux consultants de cette entreprise était à l'époque Taylor.

Cette méthode des sections homogènes est parfaitement bien adaptée à un mode d'organisation et de production taylorien.

Aujourd'hui, la plupart des entreprises ne sont plus dans ce contexte-là ! L'entreprise se doit de faire évoluer les instruments de mesure de son système productif. Le système de mesure doit désormais être un outil du pilotage de la production au service de la performance de l'entreprise. Nous nous proposons de présenter ici l'une des solutions possibles à cet égard : *les indicateurs de performance*.

1.2 Inefficacité du système traditionnel au niveau du pilotage de la production

L'idée selon laquelle la gestion traditionnelle peut s'adapter à des démarches de progrès, comme la qualité totale dans une entreprise agile, semble aujourd'hui dépassée. En effet, il apparaît que les fondements mêmes de la comptabilité analytique traditionnelle sont remis en cause par ces démarches. Nous présentons ci-après quelques illustrations de cet état de fait.

Exemple 1

Toutes les informations nécessaires au calcul des coûts liés à la production dans l'entreprise proviennent des ateliers, de l'usine. S'il existe dans cette dernière des systèmes informatisés ou non de suivi de la production, ou si la production est gérée par l'existence d'un système d'ordres de fabrication, il n'y a pas de problème : les comptables peuvent récupérer une information qu'ils jugent pertinente pour le calcul des coûts.

En revanche, si des démarches de progrès du type création d'îlots de fabrication autonomes, ou lignes de production pilotées par le principe du Kanban, sont mises en place dans l'entreprise, l'information devient non pertinente, voire inexistante.

En effet, dans le cas des îlots de production autonomes, on génère des ordres de fabrication pour un groupe de produits. L'ordre est ouvert quand la fabrication commence et fermé quand la fabrication se termine. Le comptable reçoit donc des informations relatives à un groupe de produits et non plus à un seul produit. Comment peut-il faire pour déterminer le coût de chacun des produits du groupe ?

Exemple 2

La comptabilité analytique traditionnelle repose sur l'utilisation des charges directes comme critère de répartition des charges indirectes. Tant que la proportion des charges directes dans l'entreprise reste supérieure à la proportion de charges indirectes, on peut considérer l'idée précédemment énoncée comme n'étant pas trop incorrecte. Mais on sait qu'aujourd'hui, les charges directes ne représentent plus en moyenne que 10 % des charges globales. Certaines entreprises très automatisées ou très flexibles prétendent même ne plus avoir de charges directes du tout. Alors, que faire ?

Ce sont les bases mêmes de la gestion traditionnelle qui sont remises en cause ici.

1.3 Performance industrielle et évaluation financière

Un autre point critique concerne l'évaluation financière des performances du système de production. En effet, toute forme de performance ne se traduit pas systématiquement par un montant financier. Il n'est pas rare de constater aujourd'hui que certains éléments, très fortement liés à la performance du système de production de l'entreprise, ne génèrent pas forcément des dépenses et des recettes immédiatement identifiables.

Le moment est venu de se poser une question clé : à quoi sert véritablement la gestion d'une entreprise ?

Si son objectif est de refléter la santé de celle-ci, alors les critères retenus doivent être corrélés avec l'efficacité de l'entreprise. Ce n'est malheureusement plus le cas quand on continue à utiliser un contrôle de gestion traditionnel.

Prenons deux exemples pour illustrer cette idée.

Exemple 1

Au niveau du pilotage de la production, les industriels savent parfaitement qu'ils doivent disposer de données techniques de qualité pour espérer un système de gestion de la production efficace, donc avec des délais respectés, et à la clé la satisfaction des clients...

Mais la comptabilité analytique ne propose pas de calcul qui permettrait à l'entreprise de connaître le niveau de fiabilité des gammes de fabrication ou de ses nomenclatures de gestion de la production.

Exemple 2

Toujours en ce qui concerne la production, les industriels savent aussi parfaitement qu'il leur faut des fournisseurs fiables, pour maîtriser les délais...

Mais, là non plus, la comptabilité traditionnelle ne propose pas d'outil.

Toutes ces constatations remettent sérieusement en cause les outils traditionnels du pilotage de la production. En particulier, il apparaît nécessaire de concevoir un système d'indicateurs non financiers du système de production.

Deux orientations occupent la pensée dans ce domaine. L'une concerne la recherche d'un nouveau système analytique fondé sur une expression financière, et l'autre la recherche d'un système d'indicateurs fondé sur une expression quantitative et financière.

La première orientation, connue sous le nom de ABC-ABM (pour *Activity Based Costing-Activity Based Management*), et en français sous le nom de gestion par les activités, reste aujourd'hui peu utilisée dans les entreprises françaises. En revanche, la seconde semble connaître un essor croissant. Nous nous proposons de détailler cette approche dans les paragraphes suivants.

2. Les indicateurs de performance

2.1 Quelques définitions

Il paraît indispensable de poser au préalable certaines définitions pour comprendre comment peut fonctionner un système d'indicateurs liés à la performance dans l'entreprise. Une définition est aujourd'hui admise par tous quant à la notion *d'indicateur de performance* :

Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif qui aura été déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'ensemble.

Essayons d'explicitier quelque peu cette définition qui propose un champ d'action très restrictif.

- Un indicateur de performance est une donnée quantifiée. Cela signifie qu'on fait référence à la nécessaire quantification d'un phénomène. Or, tout phénomène dans l'entreprise est-il quantifiable ? Quand on s'intéresse à des délais, des pièces produites, à des phénomènes physiques, la quantification ne pose en général que peu ou pas de problème. En revanche, quand on fait par exemple référence à des phénomènes psychologiques, la quantification pose problème. En particulier, si l'on cherche à mesurer la motivation des personnes sur leur lieu de travail, la pertinence de la mesure est loin d'être évidente. Or, quel peut être l'intérêt d'une mesure qui n'est pas pertinente ? Il faudra être vigilant par rapport à cela.
- Un indicateur mesure l'efficacité, donc l'aptitude d'un processus à générer une performance. Un indicateur paraît ainsi indissociable d'une démarche d'amélioration continue. Mesurer pour mesurer ne sert à rien. Le fait de mesurer doit servir à prendre des décisions d'action pour l'amélioration. Il peut s'agir d'une amélioration au niveau d'un poste de travail, d'une section d'ate-

lier, d'un atelier, d'une usine, ou de l'entreprise dans sa globalité. Il existe donc des indicateurs de différents niveaux hiérarchiques.

- Un indicateur mesure l'efficacité requise par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté pour la satisfaction des clients du processus. Il est donc nécessaire de mobiliser, motiver le personnel de l'entreprise pour qu'il accepte de s'impliquer, de s'engager, sinon le projet est voué à l'échec.
- Un indicateur s'exprime dans le cadre d'une stratégie d'ensemble. Il est nécessaire de vérifier la cohérence de l'ensemble des indicateurs, utilisés à tous les niveaux, dans l'entreprise. Selon P. Lorino, « les indicateurs de performance ne doivent pas constituer une mosaïque de logiques locales, mais un système collectif de logiques partielles traduisant une stratégie globale ». Cela nous paraît essentiel. Tous les acteurs de l'entreprise doivent travailler dans le sens imposé par la stratégie globale de l'entreprise.

2.2 Indicateurs de résultat et indicateurs de processus

Les indicateurs de performance tels que nous venons de les définir tentent de recouvrir deux aspects du système de production : un aspect lié aux résultats et un autre aux processus. À cet effet, deux catégories d'indicateurs peuvent être définies :

- **Les indicateurs de résultat** indiquent le résultat auquel on peut parvenir. Exemple : la quantité produite d'un élément fabriqué par l'entreprise.
- **Les indicateurs de processus** permettent d'exprimer la manière d'obtenir un résultat. (Exemple : pour un indicateur de résultat comme la quantité produite, on aura des indicateurs de processus comme le nombre d'incidents, le nombre de pièces rebutées, le niveau de qualité des composants utilisés...)

Cette distinction est tout à fait intéressante. Dans son ouvrage sur le Kaizen, M. Imai montre que les entreprises occidentales ont toujours privilégié les indicateurs de résultat, les entreprises japonaises ceux de processus. M. Greif, dans son ouvrage, *L'usine s'affiche*, exprime cela

d'une manière bien plus imagée en notant : « Les Occidentaux comptent les œufs de la poule, les Japonais s'intéressent à la santé de celle-ci. »

Mais finalement, qu'est-ce qui est le plus intéressant ? Compter les œufs de la poule ou se préoccuper de la santé de celle-ci ?

Les deux éléments semblent être indissociables. On peut quand même imaginer que, si on se préoccupe de la santé de la poule, elle pondra des œufs nombreux et de bonne qualité !

Comment expliquer qu'encore bien trop peu d'entreprises occidentales s'intéressent à cette notion d'indicateur de processus ?

Il semble que l'on sache bien modéliser des états mais que l'on appréhende mal les processus.

Cela provient sans doute du fait qu'un certain nombre d'entreprises n'ont pas de stratégie industrielle clairement définie. Elles n'ont donc pas besoin d'indicateurs de processus. Si on traduit cela de manière imagée, on peut dire que, si on ne sait pas où on va, on n'a pas besoin de se demander comment y aller. L'existence d'une stratégie claire et précise est donc le point de départ obligatoire d'un bon système de mesure de la performance dans l'entreprise.

L'entreprise doit se doter à la fois d'indicateurs de résultat et d'indicateurs de processus. Mais comment une entreprise doit-elle procéder pour construire un système d'indicateurs cohérent et pertinent ?

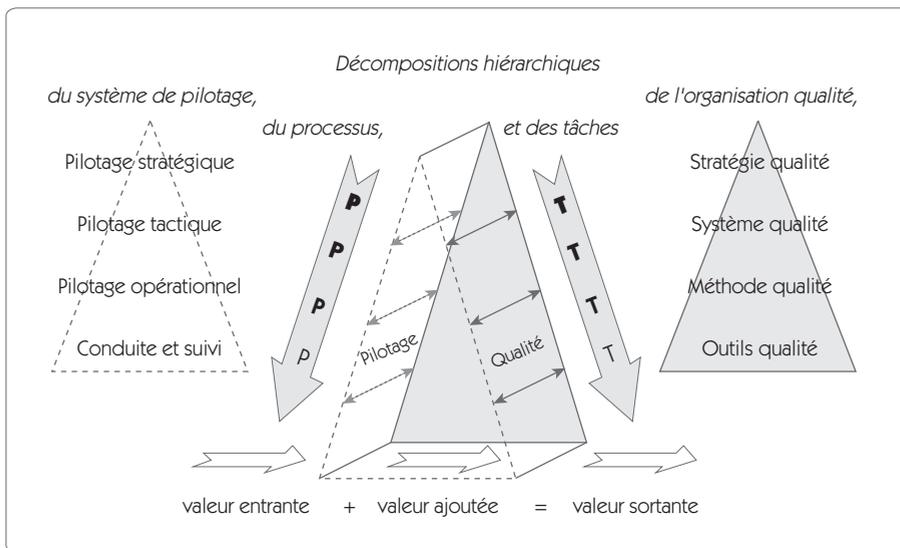
2.3 Construction d'un système d'indicateurs de mesure et de pilotage

La performance est le résultat d'un pilotage. La construction d'un système d'indicateurs de performance doit donc coller à la stratégie de pilotage de l'entreprise. Nous pouvons observer un certain parallélisme entre le découpage hiérarchisé du pilotage d'un processus de production et la hiérarchie des approches qualité⁵. Cette décomposition peut

5. Voir notamment *Qualité en production*, « De l'ISO 9000 à Six sigma », D. DURET, M. PILLET, *op. cit.*, pour plus de détail concernant l'aspect « qualité ».

être fondée sur celle, classique, du système de production (usine, atelier, cellule, machine) ou sur celle des tâches de production associées, organisées en processus. Cela peut se représenter sous une forme pyramidale d'empilement de ces strates, avec d'une part des niveaux d'agrégation allant d'un point de vue global à une prise en compte des détails et, d'autre part, des horizons temporels se réduisant en même temps que s'affine la granularité d'observation.

Figure 11.1
Parallélisme entre l'organisation hiérarchique du pilotage et celle de la qualité



Un système cohérent d'indicateurs doit prendre pour base de construction le *pilotage stratégique*. La direction générale doit clairement définir une *stratégie*. En effet, le système d'indicateurs aura pour but de mesurer l'adéquation ou la non-adéquation des actions mises en œuvre pour respecter cette stratégie.

Cette stratégie doit être éclatée de façon cohérente au niveau du *pilotage tactique*. Cela consiste à traduire les décisions stratégiques au niveau des services opérationnels. On doit définir les *objectifs principaux* liés à cette stratégie.

Les services opérationnels devront traduire ces décisions en sous-objectifs pour le processus concerné par l'utilisation de méthodes et d'outils. C'est le *pilotage opérationnel*.

Enfin, au niveau de chaque poste de travail, on devra également fixer des objectifs cohérents avec les indicateurs d'un niveau hiérarchique supérieur. Ces indicateurs seront les indicateurs de *conduite et de suivi*.

Le parallélisme entre les différents niveaux de pilotage et les approches qualité, tel que le montre la figure 11.1, est frappant, et la version 2000 des normes ISO en matière de référentiel qualité offre une approche intéressante pour la construction d'un système d'indicateurs cohérent.

La mise en place d'un tel système implique que l'on recherche la satisfaction des clients en identifiant les CTQ (pour *Critical To Quality*) qui sont les éléments essentiels de la pérennité de l'entreprise. On doit dans un premier temps procéder à l'identification de ces CTQ au niveau stratégique. La seconde étape consiste à se poser la question suivante : « Comment mesurer la façon dont on atteint les objectifs fixés ? » On voit bien ici le lien avec les indicateurs de niveau stratégique pour l'entreprise.

Pour illustrer ce point essentiel dans une démarche qualité, prenons pour exemple une petite entreprise qui produit des raquettes de randonnées sur neige. Le premier travail consiste à identifier les clients de l'entreprise, leurs besoins, leurs exigences et la façon dont on mesure l'atteinte de ces exigences. Ce travail donne lieu à un tableau CTQ dont une version simplifiée est donnée en figure 11.2.

Figure 11.2 – Diagramme CTQ – Niveau stratégique

Client	Besoin	Exigence	Mesure
Client final du produit	Disposer d'un moyen de se déplacer sur la neige	Pratique dans son utilisation	Enquête de satisfaction Utilisation de panel
		Fiable	Taux de retours, plainte client
		Coût accessible	Positionnement sur le marché concurrentiel
Actionnaire	Rentabiliser son investissement	Augmentation de la valeur	Valeur de l'action
		Rémunération du capital investi	Dividende
Salariés	Épanouissement personnel	Salaire satisfaisant	Benchmarking sur le marché concurrentiel
		Conditions de travail	Enquête de satisfaction
		Évolution personnelle	Suivi personnalisé évolution + formation
Société	Intégration harmonieuse	Intégration environnementale	Rapport de la DRIR Relation de voisinage
		Participation à la formation	Nombre de stagiaires

La colonne « Mesure » permet de définir les indicateurs au niveau stratégique avec lesquels on vérifiera la satisfaction des clients de l'entreprise.

Le déploiement de ces objectifs au niveau tactique requiert que l'on décompose le « système entreprise » en processus mis en œuvre pour atteindre la performance. On dissocie généralement deux types de processus :

- Les processus principaux qui sont directement liés à la satisfaction du client.

- Les processus supports qui ont comme clients les processus principaux.

Cette structuration de l'entreprise sous forme de processus est une exigence de la norme ISO 9000-2000. Ce travail considérable peut très utilement être mis à profit dans la construction d'un système d'indicateurs cohérent.

Le passage du CTQ stratégique à la structuration du système en processus permet lui-même de passer du pilotage *stratégique* au pilotage *tactique*.

Il incombe à chaque processus identifié de refaire le travail de recherche de son tableau CTQ : quels sont les clients, ses besoins, ses exigences et les mesures que l'on met en place pour vérifier la satisfaction.

On va alors recenser *l'ensemble des facteurs qui influent* sur la performance des processus. Puis, la définition du *plan d'actions* s'impose : il faut prendre des mesures précises pour agir sur et modifier la performance des processus concernés. C'est le passage du pilotage *tactique* au pilotage *opérationnel*.

On pourra en vérifier la cohérence avec un tableau de type QFD, tel que celui représenté en figure 11.3. Il permet de vérifier que chaque indicateur de performance au niveau stratégique est bien déployé au niveau opérationnel, et que les indicateurs mis en place au niveau opérationnel s'inscrivent bien dans la stratégie de l'entreprise. La partie supérieure permet de valider la cohérence horizontale des indicateurs dont nous traiterons plus bas au paragraphe 2.4, « Caractéristiques essentielles des indicateurs de performance ».

Figure 11.3 – Tableau de cohérence des indicateurs

Objectifs stratégiques	Processus	Production		Approvisionnement	
	Indicateurs	Taux de fiabilité	Capabilité des processus	Taux de service	
	Plan d'action	Mise en place d'une démarche TPM	Mise en place d'une démarche MSP	Plan d'amélioration de la <i>Supply Chain</i>	Réduction du nombre de fournisseurs
OS1		1	1	9	6
OS2		3	9	3	3
...					
OSx		9	3	1	1
Importance		13	13	13	10

La présence des *indicateurs* se justifie alors comme outil de suivi, de mesure des améliorations progressives. Pour cela, il est indispensable de définir pour chaque indicateur un libellé, un mode de calcul, une unité de mesure, une périodicité de suivi liée à la capacité d'amélioration, ainsi qu'une base de référence (pour savoir d'où on part) et un objectif (pour savoir où on va).

Prenons un exemple : choisissons comme indicateur *le taux de fiabilité des équipements* exprimé en pourcentage.

Il sera évalué par un taux de panne ou, si l'on préfère voir les choses de manière optimiste, on va le calculer par un MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement.

Voici les éléments sur lesquels on va agir (les variables d'action) :

- les heures d'entretien préventif et les heures d'entretien prédictif ;
- l'état de l'équipement ;
- le nombre d'heures d'utilisation ;
- la maintenabilité (simplicité de maintenance) ;
- la fiabilité dès la conception ;
- l'existence de dispositifs prédictifs.

Les moyens d'action en sont :

- la mise en place d'une démarche TPM ;
- la mise en place d'action 5 S ;
- l'utilisation de l'AMDEC dans la définition des nouveaux équipements...

Un indicateur, ce n'est donc pas seulement une expression, ici, le taux de fiabilité. C'est aussi l'ensemble des éléments qui lui sont associés.

2.4 Caractéristiques essentielles des indicateurs de performance

La construction de tout système d'indicateurs requiert que l'on s'appuie sur une *cohérence horizontale* et une *cohérence verticale*.

- La cohérence horizontale correspond au besoin de s'assurer d'une non-contradiction entre les indicateurs d'un même niveau hiérarchique. On ne peut pas par exemple avoir un indicateur qui mesure l'accroissement de la polyvalence des opérateurs et, simultanément, un indicateur d'accroissement de la productivité car, quand la polyvalence augmente, la productivité diminue, au moins dans un premier temps. Dans la figure 11.3, cette cohérence est vérifiée sur chaque couple (de - - - à + + +).
- La cohérence verticale signifie que les indicateurs d'un certain niveau hiérarchique doivent être le reflet synthétique des indicateurs de niveau hiérarchique inférieur. On peut par exemple défi-

nir un indicateur synthétique de changement de série, comme le temps moyen de changement de série sur les postes à problèmes d'un atelier.

Un système d'indicateurs doit être un outil qu'on utilise comme support d'actions d'améliorations. Cet outil doit permettre de savoir où on en est et qui donne la volonté d'aller plus loin.

Les indicateurs doivent :

- Être faciles à comprendre, mesurer, représenter, puisqu'ils vont être utilisés par tous dans l'entreprise et surtout par les opérateurs dans les ateliers. Si ces caractéristiques ne sont pas respectées, on a peu de chance de parvenir à mobiliser les hommes et les femmes de l'entreprise autour d'éléments qu'ils ne comprennent pas.
- Couvrir toute l'activité de l'entreprise pour aller dans le sens de la stratégie globale de l'entreprise, parce que l'entreprise est un ensemble d'éléments interdépendants les uns des autres et interactifs, et que la non-prise en considération d'un seul de ces éléments peut conduire à l'échec du projet.
- Être en nombre limité, sinon, il est impossible de les utiliser comme outils d'aide à la décision pertinents. Pour P. Lorino, un décideur ne peut pas prendre en considération plus de cinq ou six indicateurs. Or, chacun des acteurs de l'entreprise est à son poste un décideur en puissance. On doit donc apprendre à synthétiser l'information pour la rendre utilisable.
- Être mis en place et généralisés rapidement. Tous les secteurs de l'entreprise sont concernés par les indicateurs pour améliorer la situation globale de l'entreprise.
- Avoir une fréquence de mesure liée aux possibilités d'amélioration. Il est par exemple inutile de mesurer un temps de changement de série sur une machine toutes les semaines, si on ne se donne pas les moyens de l'améliorer durant cette durée.
- Avoir une permanence relative à l'existence du besoin. Quand un indicateur atteint son objectif maximal ou quand on change d'objectif, il ne faut pas hésiter à changer d'indicateur. On peut par exemple définir un indicateur plus sévère que le précédent, pour continuer à améliorer une situation ou supprimer un indi-

cateur quand un besoin disparaît. Parfois, il est cependant nécessaire de maintenir certains indicateurs pour vérifier que le système ne dérive pas. Quand une entreprise a par exemple effectué une action d'amélioration de ses gammes de fabrication et parvient à un niveau de fiabilité de 100 %, elle doit maintenir l'indicateur et effectuer périodiquement un contrôle de ses gammes pour vérifier que le niveau de fiabilité reste bien à 100 %.

- Permettre une information largement diffusée, mais seulement aux personnes directement concernées par celle-ci et sous une forme accessible aux personnes concernées. À cet égard, le mode de représentation, d'affichage, de l'information est essentiel. Selon M. Greif, toujours dans son ouvrage *L'usine s'affiche*, « les indicateurs affichés dans l'atelier ne doivent avoir qu'un seul but : devenir les outils de travail de l'équipe, exactement comme ses machines, ses robots ou ses chariots de manutention ». De ce point de vue, une véritable politique d'affichage des indicateurs doit être entreprise. C'est un élément essentiel de la politique de communication interne de l'entreprise.

2.5 Mise en place des indicateurs de performance

Comme toute démarche de mise en place de projet, celle relative aux indicateurs de performance impose :

- Une décision de la direction car tout projet important doit être soutenu, voire relancé en cas de problème, par la direction. Si ce n'est pas le cas, il n'est pas certain que le projet se pérennise et donne les résultats escomptés. En effet, le projet des indicateurs concerne toute l'entreprise et peut être source de réorganisations, de transformations, que doit imposer la direction. Si le projet échoue, les hommes et les femmes de l'entreprise auront la sensation d'un effet de mode qui n'aura duré qu'un temps, et il sera très difficile par la suite de leur demander de s'engager à nouveau.
- Une action de sensibilisation et de formation pour tous et adaptée à chaque groupe constituant l'entreprise. On ne peut demander aux personnes de s'impliquer spontanément dans un

nouveau projet sans les informer du contenu et de la finalité de ce dernier. La phase formation-information est un élément important qui conditionne la réussite du projet.

- Un diagnostic de l'existant, car on ne peut pas avoir d'objectifs si on ne connaît pas la situation de départ. Ce diagnostic doit permettre une analyse de l'entreprise, de ses forces, de ses faiblesses, ce qui permet d'aborder le point suivant.
- Une détermination d'objectifs parfaitement définis dans le temps. Ces objectifs vont se traduire chez tous les acteurs de l'entreprise, aux différents niveaux hiérarchiques existants.

Cette détermination d'objectifs est le préalable à une mise en œuvre effective d'actions d'amélioration au niveau des différentes activités définies comme étant sensibles et indispensables dans la recherche de l'amélioration de l'entreprise.

Pour préciser ces idées, nous allons nous appuyer sur un exemple.

Une entreprise que nous appellerons X souffre d'un grave problème de respect de ses engagements de production à moyen terme. La production réalisée pour chaque produit sur chaque période est rarement conforme à la prévision.

La recherche des causes de ce problème fait apparaître deux éléments principaux :

- Les prévisions de production sont déterminées lors de réunions mensuelles regroupant commerciaux, gestionnaires de production et responsables de production. Les participants sont, pour le moment, incapables de se mettre d'accord sur la quantité à choisir pour chaque produit.
- On constate, en production, quelques problèmes qui sont un frein à la flexibilité, nuisant à la satisfaction des clients qui exigent des délais très courts.

Voici les éléments sur lesquels on peut agir pour commencer à résoudre le problème de respect des engagements :

- En matière de communication, l'incapacité ressentie entre commerciaux, gestionnaires de production et responsables de production est apparemment liée à leur incompréhension mutuelle, elle-même liée à leur méconnaissance des problèmes des autres.

- En production, l'absence de flexibilité en production est principalement due à des temps de réglage excessifs et à un niveau de non-qualité important.

On choisit de mettre en place les actions suivantes :

- Des séances de formation regroupant commerciaux, gestionnaires de production et responsables de production sont planifiées pour leur apprendre à faire des prévisions cohérentes, tenant compte des problèmes de chacun.
- Des chantiers SMED et la mise en place d'auto-contrôles statistiques sont également envisagés.

Il reste à définir précisément les objectifs échéancés auxquels on souhaite parvenir et les moyens à mettre en œuvre. C'est à ce niveau-là que l'on va voir apparaître les indicateurs.

- Ici, on peut envisager :
- un temps moyen de réglage par atelier ;
- un taux de non-qualité ;

un indicateur global de respect des engagements :

$$I = \frac{P - \sum_i |P_i - R_i|}{P}$$

avec :

- P = engagement de production par mois pour une famille de produits ;
- P_i = prévisions
- R_i = réalisations pour chaque produit de la famille.

3. Conclusion

Les indicateurs de performance constituent une bonne solution pour mesurer la performance de l'entreprise, et plus particulièrement de son système de production. Face aux grands bouleversements que subit l'industrie, un changement d'approche semble indispensable.

Les indicateurs de performance représentent une solution, mais elle est incomplète. En effet, à eux seuls, les indicateurs ne permettent pas d'assurer la compétitivité et la réussite de l'entreprise. Ils ne sont qu'un outil de compréhension, maîtrise, pilotage, autrement dit *un outil d'aide à la décision* dans l'entreprise.

On peut difficilement imaginer que l'aspect financier soit totalement supprimé dans les entreprises. On vend des produits à certains prix, et on a toujours envie d'en connaître la rentabilité, une rentabilité fondée sur des informations financières.

Si l'on en croit P. Druker, l'un des papes de la gestion aux États-Unis, « les compteurs de haricots n'ont pas bonne presse ces derniers temps. Tous les maux de l'industrie américaine leur sont imputés. Mais les compteurs de haricots auront le dernier mot. Dans l'usine de demain, la comptabilité analytique jouera un rôle aussi important et même probablement plus important que jamais. *Mais les haricots seront comptés différemment !* »

On peut donc imaginer que l'usine de demain sera dotée d'une super-méthode de gestion, un « système analytique » comprenant à la fois :

- un système d'évaluation physique de l'entreprise à partir d'indicateurs de pilotage et de mesure de la performance ;
- un système d'évaluation économique de l'entreprise fondé sur une gestion par activités.

Ces deux systèmes devront être parfaitement complémentaires.

Mais on rencontre encore fort peu cette situation et il faudra peut-être attendre quelques années pour la voir se développer...

Chapitre 12

La supply chain

1. Introduction

1.1 Généralités

Nous avons choisi de conserver les termes américains de ce concept pour intituler ce chapitre car ils en fournissent sans doute la meilleure illustration. En France, pour le traduire, on parle de chaîne logistique, expression à laquelle on agrège souvent des épithètes comme globale, étendue ou intégrée.

Pour bien comprendre ce que signifie le concept, il n'est pas inutile d'opérer un rapide retour en arrière pour faire le point sur l'évolution des méthodes et outils en matière de gestion industrielle. En effet, si la *supply chain* a vu le jour récemment, ce n'est pas un hasard, mais le fruit d'une évolution à plusieurs niveaux, à la fois au niveau des systèmes d'information, des modes de transport, des réseaux informatiques...

La *supply chain* telle qu'elle est imaginée aujourd'hui aurait été inconcevable il n'y a ne serait-ce qu'une dizaine d'années de cela.

Le concept de logistique, cœur de la *supply chain*, est apparu il y a fort longtemps... Les Égyptiens, lors de la construction des grandes pyramides, ont bien dû se poser des questions logistiques pour faire converger tous les composants nécessaires à la réalisation des travaux au bon moment. De même, les premières questions relatives à la standardisation des tâches ont sans doute émergé à ce moment là.

Mais c'est au début du xx^e siècle que le concept prend véritablement toute sa signification. C'est la période où Taylor développe les principes de l'organisation scientifique du travail, où, dans l'entreprise Ford, les premières expériences de travail à la chaîne sont mises en place : ce sont donc les premières innovations en matière de logistique.

Il faudra attendre les décennies 1950-1960 pour voir apparaître les premiers logiciels informatiques spécialisés en logistique industrielle. Class d'IBM sera le premier programme informatique capable de gérer une production.

Dans les décennies suivantes 1970-1980, la logistique prend un virage radical. En effet, avec l'apparition de la concurrence et de la mondialisation des échanges, la diversité des produits explose, la complexité se développe, les exigences en matière de raccourcissement des délais sont telles qu'il faut approvisionner, produire et livrer des produits à cycle de vie de plus en plus courts le plus rapidement possible et partout dans le monde. Cela va générer pour les entreprises des besoins d'évolution importants. Dans ces années-là, le Japon est en pleine réussite industrielle et c'est de ce côté-là que les entreprises occidentales vont rechercher des solutions : le juste-à-temps, la qualité totale, la maintenance productive totale... vont permettre d'accroître sensiblement la flexibilité et la réactivité des industries. Parallèlement, les logiciels informatiques évoluent beaucoup et vont représenter de gigantesques boîtes à calculs pertinentes dont les entreprises ont besoin pour gérer leurs problèmes croissants de complexité et de diversité.

Aujourd'hui, les exigences sont encore plus importantes. Pour survivre, les entreprises doivent proposer :

- un temps de réponse toujours plus court, à tous les niveaux (conception, industrialisation, approvisionnement, fabrication, distribution, produit, processus...) ;
- des coûts de plus en plus faibles ;
- une qualité parfaite qui est devenue une condition nécessaire pour mettre un produit sur le marché ;
- un service client de plus en plus personnalisé (adaptation aux besoins, assistance à la mise en œuvre, dépannage...).

Pour apporter des réponses à ces nouvelles exigences, les entreprises se sont interrogées. Elles ont constaté que le recours aux méthodes de type *Lean Production* leur avait permis d'éliminer de nombreux gaspillages au niveau interne, à l'intérieur des entreprises. Dans certains cas, un travail d'amélioration a même été mené en partenariat avec les fournisseurs, ce qui a permis des améliorations plus globales, mais ces situations restaient pour le moins très limitées...

Les entreprises se sont alors orientées vers une réflexion bien plus globale : pourquoi, en effet, ne pas réfléchir au niveau de la chaîne constituée par l'ensemble des acteurs à l'origine de la réalisation d'un produit ou d'une famille de produits, *de l'entreprise représentant le premier fournisseur de la chaîne jusqu'au client le plus en aval de la chaîne, à savoir le consommateur final du produit ?*

Cette réflexion a l'avantage d'amener les entreprises à graviter dans des sphères de réflexions inexploitées jusqu'alors. En effet, à partir du moment où on observe la chaîne de création des produits, on s'intéresse à la recherche de l'optimisation globale de la chaîne et non plus à l'optimisation de ses différents maillons, ce qui est radicalement différent. Ce mode de réflexion va également conduire les entreprises à regarder et à étudier les connexions existant entre les différents maillons, ainsi que les rôles de chaque maillon qui devront sans doute être redéfinis...

Cette vision *supply chain* a donc procuré aux entreprises de nouveaux éléments générateurs de progrès, que nous décrirons dans ce chapitre.

1.2 De la logistique à la *supply chain*

Pour bien comprendre ce qu'est la chaîne logistique, il nous semble important de bien comprendre tout d'abord ce qu'est la logistique. Pour le grand public, le mot de logistique a quelque connotation militaire, du type : « Mettre à disposition des unités opérationnelles l'ensemble des produits dont elles ont besoin. » Pour l'entreprise, la logistique représente d'abord la gestion des moyens de transport pour mettre à disposition des ressources les stocks nécessaires afin d'éviter toute situation de rupture.

Dans cette logique de base, la solution la plus simple consiste à mettre des stocks un peu partout afin de garantir un taux de service satisfaisant.

Dans une relation entre un fournisseur et un client, le client souhaite que le stock soit présent chez le fournisseur, et *vice versa*. Cependant, lorsqu'on regarde le problème de façon globale, peu importe que le stock se trouve chez l'un ou chez l'autre (ou chez les deux) : de toutes les façons, il va falloir payer ce stock et celui qui va le payer en fin de compte, ce sera le client final, le client de la « chaîne logistique ».

Sous cet angle, il apparaît bien que nos deux entreprises ont donc intérêt à s'entendre pour ne plus avoir à considérer la logistique comme un centre de coût mais comme une source de profit. Alors, comment organiser de façon optimale cette connexion entre les deux entreprises pour, non seulement diminuer le coût, mais optimiser les profits de chacun ?

Pour y parvenir, il va falloir bien sûr revoir les aspects d'« intendance » tels que les stocks éventuels, les lieux de stockage, les transports. Il va falloir créer des liens beaucoup plus forts entre les deux partenaires, par exemple réserver chez le fournisseur une certaine capacité de production avec des périodes fermes et d'autres plus souples, revoir une politique tarifaire qui pourra être variable en fonction du respect des engagements de chacun, etc.

Cette évolution par rapport à la première vision de la logistique qui a conduit à ce chaînage entre plusieurs entreprises pour une meilleure satisfaction du client méritait un changement d'appellation et on parle désormais de « chaîne logistique étendue » ou *supply chain*.

2. Comment définir la *supply chain* ou « chaîne logistique intégrée et étendue » ?

2.1 Le concept de logistique

Pour bien définir la logistique, nous avons choisi de reprendre la définition de A. K. SAMII⁶ qui nous a paru très intéressante à plus d'un titre :

« *La logistique est le processus :*

- *qui anticipe les désirs et les volontés des clients ;*
- *qui permet de se procurer le capital, les matières, les personnels, les technologies et l'information nécessaires pour réaliser ces désirs et volontés ;*
- *qui permet d'optimiser et d'utiliser les réseaux de distribution de biens matériels, d'informations et de services afin de satisfaire complètement et rapidement la commande ou l'ordre placé par le client au plus juste coût. »*

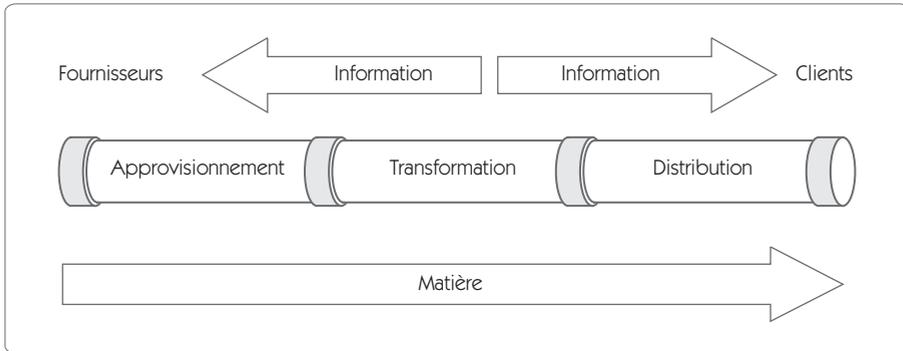
On trouve dans cette définition tous les ingrédients essentiels :

- Le client doit être au cœur du processus logistique.
- Pour le satisfaire, tout doit être mis en œuvre et on doit disposer de tous les éléments nécessaires, du capital jusqu'au système d'information.
- La logistique n'est plus seulement une affaire de circulation de produits comme cela a été le cas très longtemps, c'est aussi une affaire de services et de circulation d'informations indissociables des produits à intégrer dans la réflexion.
- La logistique, c'est aussi et enfin, et c'est peut-être le plus important, une affaire de flux... et cela reste parfaitement exact au niveau de la réflexion *supply chain*.

Selon A. K. SAMII, « *la logistique est la gestion des flux et son accélération comme dans un pipe-line* ».

6. A. K. SAMII, *Mutations des stratégies logistiques en Europe*, Nathan, 1997.

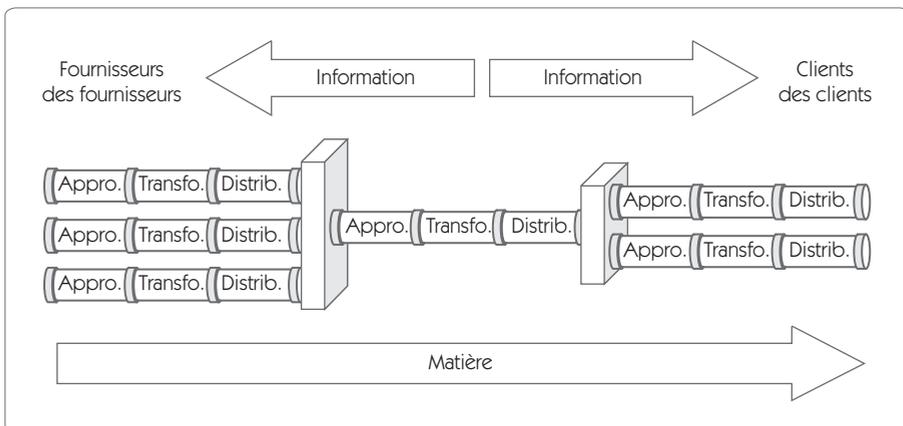
Figure 12.1 – Le pipe-line logistique



On trouve dans la littérature de nombreuses représentations de la logistique en bulles, en fleurs...

La représentation sous la forme d'un *pipe-line* nous plaît beaucoup parce qu'elle est efficace. L'analogie avec la circulation du pétrole dans un pipe-line correspond à ce que toutes les entreprises souhaitent faire aujourd'hui : fluidifier au maximum leurs productions et la distribution de ces dernières pour qu'il n'y ait quasiment plus de ruptures ou d'engorgements de flux ; c'est essentiel en matière de satisfaction rapide du client.

Figure 12.2 – Le pipe-line supply chain



On peut donc dès maintenant envisager la *supply chain* comme un super pipe-line qui intégrerait la totalité des acteurs présents dans la chaîne logistique de réalisation d'un produit ou d'une famille de produits.

Ce pipe-line *supply chain* (cf. figure 12.2) ne pourra être pertinent et efficace que si tous les éléments constituant le pipe-line sont imbriqués les uns avec les autres, en d'autres termes si les différents maillons de la chaîne fonctionnent, en harmonie, ensemble. Cela laisse entrevoir dès maintenant un certain nombre de difficultés ; ce qui n'est pas aisé à mettre en place au niveau d'une unique entreprise le sera bien davantage au niveau d'une chaîne d'entreprises... La complexité, voire l'extrême complexité, sera monnaie courante dans les *supply chains*, avec tous les problèmes de gestion que l'on peut imaginer...

2.2 Le concept de *supply chain*, chaîne logistique globale

On peut définir la *supply chain* de la manière suivante : *la supply chain est le processus global de satisfaction des clients par la création d'une chaîne de valeur qui intègre de façon optimale l'ensemble des acteurs à l'origine de la réalisation d'un produit ou d'une famille de produits.*

On a coutume de dire que la *supply chain* crée une chaîne de valeur qui commence chez le « fournisseur du fournisseur du fournisseur » et qui se termine chez le « client du client du client ».

La démarche consiste donc à mettre en œuvre une gestion globale basée sur l'apport de valeur à un produit depuis la production des matières premières jusqu'à la distribution chez le client final.

Le but recherché est une meilleure maîtrise des fournisseurs (et des fournisseurs des fournisseurs) et des clients (et des clients des clients) afin d'améliorer la qualité de la prestation globale proposée au consommateur final.

Dès lors, l'un des objectifs primordiaux pour les entreprises de la chaîne sera de *trouver le moyen de travailler véritablement ensemble et de façon efficace* ; on verra que cela crée de nombreuses difficultés.

On doit à Michaël PORTER⁷ le cœur du concept de *supply chain* et l'analyse de la chaîne de valeur qui, selon lui, est un moyen d'impliquer l'ensemble des acteurs qui contribuent à la création de valeur aux différents stades de la mise sur le marché d'un produit, dans le but ultime d'accroître la profitabilité des entreprises.

Cette idée doit, selon nous, être complétée par l'apport de Peter HINES⁸, qui considère que la chaîne de valeur peut être analysée en partant du produit souhaité par le client final. L'ensemble de la chaîne logistique peut alors être remontée à rebours et le profit réalisé n'est que la résultante de l'exécution optimale du processus destiné à satisfaire le client final.

En résumé, on voit donc deux idées-force ressortir de ces deux analyses complémentaires : pour créer une chaîne logistique efficace, il faut partir du client et créer une chaîne de valeur à rebours jusqu'au premier producteur de matières.

3. *Supply chain* et processus

La création de la chaîne de valeur que doit constituer la *supply chain* n'est possible que si l'on s'appuie sur les éléments de structuration clés, constitutifs de celle-ci, à savoir les processus des entreprises. La démarche ne peut être tournée que vers l'amélioration des processus majeurs. Cela implique la prise en compte permanente du client, la disparition des frontières entre fonctions, un regard transversal sur les entreprises qui implique le personnel, les technologies et l'information. On doit donc avoir un ensemble d'organisations centrées sur les processus qui représentent une succession d'activités ajoutant de la valeur au produit.

7. Michael E. PORTER, *L'Avantage concurrentiel*, Paris, Copyright Interéditions, 1986.

8. Peter HINES, *Creating World Class Suppliers : Unlocking Mutual Competitive Advantage*, 1994.

3.1 Processus et approche théorique

Pour bien comprendre où se situent les leviers d'actions d'une *supply chain*, il nous paraît intéressant de revenir quelques instants sur les notions d'activités et de processus.

Selon Philippe LORINO⁹ :

« Nous appellerons activité tout ce que l'on peut décrire par des verbes dans la vie de l'entreprise : tourner, fraiser, assembler, négocier un contrat, qualifier un fournisseur, monter une campagne promotionnelle, préparer un budget, émettre des factures, visiter un client, traiter des commandes... »

« Une activité est un ensemble de tâches élémentaires :

- réalisées par un individu ou un groupe d'individus,*
- faisant appel à un savoir-faire spécifique,*
- homogènes du point de vue de leur comportement de performance,*
- permettant de fournir un output bien précis, qu'il soit matériel ou immatériel,*
- à un ou plusieurs clients identifiables, internes ou externes,*
- à partir d'un panier de ressources. »*

Une activité devra donc être très étroitement liée à ce qui se passe réellement dans le fonctionnement de l'organisation ; elle devra être accessible à tous les acteurs quel que soit leur niveau de responsabilité, et elle devra permettre une base de travail efficace pour analyser les causes de la performance ou de la non-performance dans l'organisation.

Elle correspond hélas à une maille trop fine de découpage de l'entreprise, trop éloignée des enjeux stratégiques de l'organisation et de la *supply chain* ; il est donc nécessaire de regrouper les activités sous forme de processus associés aux chaînes de valeur stratégiques des entreprises constituant la *supply chain*.

9. Philippe LORINO, *Méthodes et pratiques de la performance*, Les Éditions d'Organisation, 2001.

Selon ISO 9000-2000, un processus peut être défini comme un « ensemble d'activités ». En voici la définition selon la norme ISO 9000 :

« Ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie.

- *Note 1 : les éléments d'entrée d'un processus sont généralement les éléments de sortie d'un autre processus.*
- *Note 2 : les processus d'un organisme sont généralement planifiés et mis en œuvre dans des conditions maîtrisées afin d'apporter une valeur ajoutée. »*

On peut donc observer différents processus dans les entreprises plus ou moins importants selon la stratégie définie au niveau de la *supply chain*. Citons par exemple le processus de développement de nouveaux produits, le processus commercial, le processus logistique, le processus de facturation...

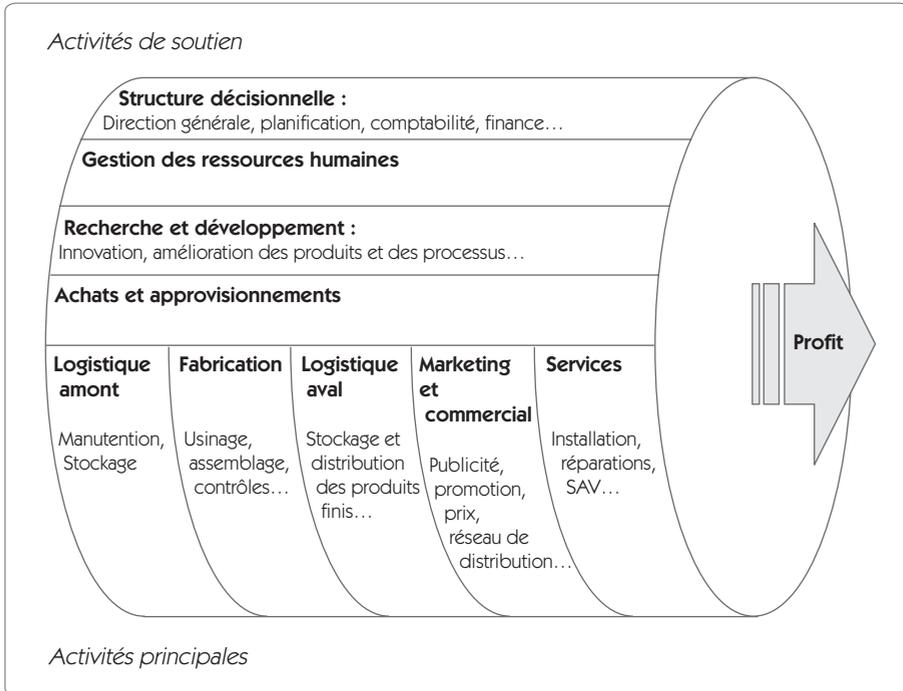
C'est sur les processus clés de création de valeur des organisations la constituant que la *supply chain* va s'appuyer pour améliorer son fonctionnement. La structuration en processus est donc essentielle à la constitution de la *supply chain*. Les préconisations de la norme ISO 9000 version 2000 sont tout à fait à l'ordre du jour au niveau des chaînes logistiques globales.

3.2 Processus et approche pratique

Créer une *supply chain* va consister à rechercher, au travers des processus, les chaînes de valeur existant dans les différents maillons de la chaîne.

On peut dans un premier temps observer les chaînes de valeur internes de chaque organisation : cette analyse est tout à fait complémentaire de la structuration en processus.

Figure 12.3 – La chaîne de valeur interne à l'organisation



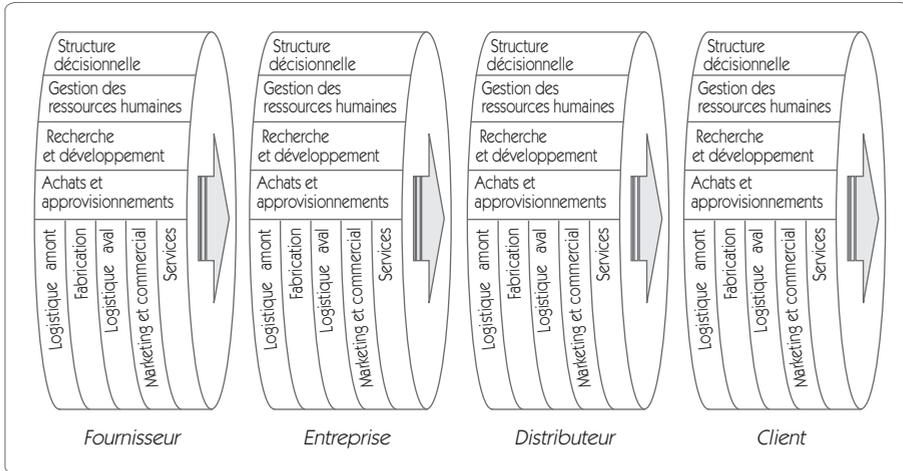
L'analyse de la chaîne de valeur interne (cf. figure 12.3) va permettre de savoir quels sont les dysfonctionnements et les freins à la performance de chaque maillon de la chaîne.

Au niveau des activités principales, des problèmes existent-ils ? Par exemple, des problèmes de ruptures de flux fréquentes au niveau de la production, des problèmes de non-qualité jugés trop importants par les clients... soit des problèmes classiques qui peuvent être réglés par une démarche de type *Lean Production*.

Au niveau des activités de soutien, là aussi, des problèmes se posent-ils ? Des erreurs trop fréquentes dans les facturations, des commandes clients qui restent trop longtemps sans être communiquées...

Mais l'objectif principal de la *supply chain* est de ne pas en rester là et de se préoccuper des chaînes de valeur externes.

Figure 12.4 – La chaîne de valeur externe



L'analyse de la chaîne de valeur externe ne va pas consister à regarder chacun des éléments indépendamment les uns des autres. Cela reviendrait en effet à généraliser ce que l'on a dit précédemment.

En effet, l'analyse de la chaîne de valeur externe va permettre de porter un regard sur la chaîne logistique dans sa globalité.

Cela permettra en particulier d'identifier :

- Les activités qu'il faudra développer car elles apportent, directement ou indirectement, de la valeur au produit destiné au client final. On peut donner l'exemple de certaines entreprises de vente par correspondance qui se sont rapidement aperçues que le délai était un élément clé du déclenchement de la commande. Elles ont alors choisi de proposer des délais de plus en plus courts : une semaine puis 48 heures, puis 24 heures, ce qui leur a imposé de développer tout un réseau de logistique de distribution fiable pour parvenir à respecter leurs engagements. L'une d'elles, en particulier, déçue par les problèmes de non fiabilité rencontrés avec son prestataire logistique, n'a pas hésité à créer son propre système de distribution avec ses propres camions et ses propres points de distribution.

- Les activités qu'il faudra supprimer, car effectuées en double ou de façon redondante entre les différents maillons de la chaîne. On peut donner l'exemple d'une entreprise importante, multi-sites de production, qui a centralisé la prise de commandes, puis qui envoie à chacun des sites de production les commandes les concernant. Chaque site qui a son propre système informatique se trouve dans l'obligation de ressaisir ses propres commandes. Il y a donc redondance et temps perdu... Ce problème doit être étudié de près.
- Les activités inutiles dans la satisfaction du client et qu'il faudra supprimer. Le client est prêt à payer pour certains éléments du produit, mais il y en a d'autres qu'il considère comme superflus... Il est donc inutile de perdre de l'argent à maintenir des opérations qui n'apportent rien d'important pour le client. On peut donner l'exemple de certains appareils électroménagers proposant une multitude de fonctionnalités et d'utilisation très complexe. Certains clients sont certes prêts à acheter ce type de produits mais ce n'est pas le cas de la majorité des clients. L'analyse précise des besoins et des attentes des clients peut être déterminante pour véritablement justifier ce qui est utile et ce qui ne l'est pas.
- Les activités qui manquent et qu'il faudra créer. On peut donner l'exemple des entreprises qui produisent des céréales pour le petit déjeuner, lesquelles se sont aperçues que la consommation des céréales pouvait être multipliée par un coefficient multiplicatif important en fonction des éléments gadgets trouvés par les enfants à l'intérieur des paquets. Il s'agit d'un élément qui n'apporte rien au produit alimentaire mais qui est déterminant dans le déclenchement de l'achat. Il convient donc de ne pas le négliger.

Par ailleurs, la connaissance des forces et faiblesses de chacun des maillons de la chaîne permettra de faire évoluer les entreprises vers un fonctionnement coopératif qui permettra :

- De supprimer certains traitements de données grâce aux EDI (Échanges de données informatisées) ou de mettre en place certaines solutions informatiques de type intranet ou Internet qui vont accélérer considérablement la circulation des informations et des produits. On voit apparaître aujourd'hui des systèmes où

les maillons clients ne communiquent même plus leurs besoins aux maillons fournisseurs. Ceux-ci disposent d'un code d'accès Internet ou intranet qui leur permet d'aller consulter l'évolution des stocks du maillon client et de décider (sans en informer le maillon client) du réapprovisionnement de celui-ci en fonction de ce qu'ils jugent en être les besoins. La communication entre maillon client et maillon fournisseur est donc réduite au minimum...

- De transférer des activités d'un maillon à l'autre en fonction des performances de chacun ; on a pu observer de nombreux exemples de ce type là lors des débuts de chaîne logistique dans l'automobile. Les constructeurs automobiles qui avaient l'habitude de concevoir une automobile dans sa globalité (c'est-à-dire l'automobile et tous ses sous-ensembles et composants) se sont aperçus que leurs fournisseurs de composants étaient bien plus performants qu'eux, non seulement pour réaliser les composants mais aussi pour les concevoir. Ils ont donc décidé d'externaliser la conception des composants chez les fabricants de ces mêmes composants, jugés bien plus efficaces qu'eux-mêmes. Cette situation qui semble *a priori* très satisfaisante peut néanmoins être délicate en particulier quand le fabricant de composants fournit des composants similaires à des entreprises concurrentes et peut donc faire bénéficier celles-ci des progrès techniques réalisés en partenariat avec d'autres entreprises. Pour pallier ce type de problèmes, certaines entreprises n'ont pas hésité à racheter certains de leurs fournisseurs pour leur imposer de ne travailler exclusivement que pour elles. Ces cas particuliers se sont produits quand les fournisseurs réalisaient des composants jugés stratégiques par les entreprises clientes.
- De délocaliser une partie des activités d'une entreprise. Cela peut être le fournisseur qui crée un stock à proximité de son client, ou le client qui crée une structure logistique délocalisée, permettant de réaliser des regroupements de plusieurs fournisseurs d'une même région.

On observe sur ces deux derniers exemples que les choix de décisions pris dans le cadre d'une réorganisation autour de la *supply chain* ne sont pas neutres en termes de conséquences et qu'il est très important de bien en mesurer les enjeux.

4. Le fonctionnement de la *supply chain*

Pour réaliser une *supply chain* efficace, il est important d'adopter une démarche progressive qui prendra en considération de nombreux éléments que nous allons développer maintenant.

4.1 Le point de départ de la *supply chain* : le client final

Nous avons choisi de retenir l'idée de Peter HINES et de faire démarrer la chaîne logistique globale au niveau du client final. Le client final, c'est lui qui garantit l'existence même du produit, son prix et ses volumes.

C'est grâce à l'analyse précise des besoins et des attentes du client final que l'on pourra avoir, au niveau de la chaîne, une stratégie valeur-coût permettant de définir les cycles de développement des produits et les cycles d'exploitation de ceux-ci, ainsi que tous les éléments de rentabilité probables ou possibles. Pour répondre à cette exigence, il est nécessaire de travailler en ingénierie simultanée au niveau de la chaîne globale pour développer les nouveaux produits. Cela consiste à utiliser les compétences de chacun des maillons de la chaîne pour travailler en étroite collaboration au niveau des réunions de conception des produits où chacun va amener son savoir-faire sur les composants du produit, les sous-ensembles, les aspects logistique, qualité...

C'est grâce à une bonne gestion de la relation client que l'on pourra le fidéliser et permettre une augmentation des ventes bénéfique à tous les maillons de la chaîne.

Le client final est somme toute le déclencheur de tous les enjeux de la *supply chain*. Il n'est donc pas étonnant de voir les entreprises dépenser des sommes considérables dans les études de marché, de satisfaction clients... dans les démarches publicitaires de séduction du client... Ce n'est pas de l'argent perdu !

4.2 La planification et la programmation dans la *supply chain*

Une bonne gestion de la *supply chain* n'est pas concevable sans planification globale liant l'ensemble des éléments qui la constituent. Une planification globale, cela signifie : réfléchir sur le long terme, le moyen terme et le court terme.

La réflexion long terme impose d'envisager toutes les évolutions possibles ou probables des familles de produits qui seront réalisées, tous les investissements de production de grande envergure nécessaires pour faire face à ses évolutions, ainsi que tous les investissements logistiques : combien de plates-formes de distribution, situées où ? quels modes de transports choisir ou pérenniser ? Quels investissements effectuer au niveau des systèmes d'information ? Mais nous y reviendrons.

La réflexion long terme impose aussi de revoir périodiquement les choix effectués. En effet, les conséquences d'erreurs concernent la globalité des éléments de la *supply chain* et peuvent donc être dramatiques...

La réflexion long terme impose que les différentes personnes constituant les maillons de la chaîne s'engagent véritablement à respecter les choix décidés : il en va de l'existence même de la *supply chain*.

La réflexion long terme doit être relayée par la réflexion moyen terme qui va assurer le pilotage des flux pour une meilleure satisfaction des clients. La chaîne logistique globale se doit donc de mettre en place :

- Une gestion centralisée des achats, ce qui est source de gains importants : négociations pratiquées sur des volumes qui permettent des négociations de prix loin d'être négligeables. Mais cette mise en place n'est pas simple surtout quand la chaîne est multinationale. En effet, les achats effectués dans certains pays ne correspondent pas forcément aux exigences légales exprimées dans d'autres, ils peuvent être sources de coûts logistiques importants, mais aussi sources de coûts liés aux différentiels des taux de change pratiqués à certaines périodes... Il ne faut donc pas imaginer que la globalisation des achats va être aisée !

- Une nouvelle gestion des approvisionnements qui se traduit par plusieurs innovations comme :
 - la massification des flux de produits, en amont vis-à-vis des fournisseurs, en aval vis-à-vis des distributeurs ;
 - l'enlèvement des produits chez les fournisseurs ;
 - le regroupement des approvisionnements par métier ou par filière, qui consiste à regrouper les approvisionnements des fournisseurs vers leurs entrepôts ainsi que les livraisons de leurs entrepôts vers les points de vente. Cette logique répond à un objectif d'abaissement des seuils de revente à perte.
- Une nouvelle gestion des stocks pour surmonter les problèmes relatifs à la gestion des stocks. Les entreprises constituant les différents maillons de la *supply chain* acquièrent des logiciels SCE - *Supply Chain Execution* - qui vont piloter les flux de produits à partir de la gestion des stocks. Ces SCE commencent par définir les caractéristiques des clients (modalités de réception des commandes, système de facturation, types de conditionnements et de livraisons) pour pouvoir mettre en place des réapprovisionnements automatiques, comportant des modules de gestion des entrepôts (optimisation des préparations et des livraisons) et de transports (optimisation des chargements et des tournées). Les SCE répondent à des situations en flux tirés et sont tournées vers le service aux clients en recourant aux EDI ou Internet pour la transmission des commandes. Ces SCE modifient complètement les procédures d'approvisionnements et de gestion des stocks.

Les réflexions long terme et moyen terme doivent préparer le terrain pour que le pilotage des flux sur le court terme puisse avoir lieu sans trop de problèmes. La réaction au niveau du court terme est quasi impossible. Il est souvent trop tard pour pouvoir réagir efficacement. Les ajustements ne peuvent être que partiels (utilisations de travailleurs intérimaires, gammes de remplacements, séquençements d'opérations, appel à des modes de transports très coûteux : taxis, avions...). On ne peut en aucun cas imaginer reporter les problèmes rencontrés à un instant donné sur le maillon suivant de la chaîne, et ainsi de suite jusqu'au... client, car c'est bien ce qui risque de se produire !

4.3 *Supply chain* et mutation des systèmes d'information

La planification, la programmation et l'exécution au niveau d'une chaîne logistique globale ne peuvent aujourd'hui fonctionner que grâce aux mutations informatiques qui ont eu lieu au cours de ces cinq à dix dernières années. En effet, comme nous l'avons déjà précisé, la création des *supply chains* est génératrice de complexité, et cette complexité, il faut trouver des logiciels ayant la capacité de la gérer ! Cela n'a été possible que grâce au développement des matériels informatiques et des logiciels.

Dans un premier temps, les éditeurs ont proposé des progiciels chargés de gérer la production, les *Manufacturing Execution Systems* (MES).

Les éditeurs ont ensuite conçu des progiciels capables de gérer les opérations de logistique de distribution. Ce sont les *Supply Chain Execution* (SCE) qui regroupent la gestion et le suivi des opérations logistiques, ainsi que la gestion des commandes.

Puis, pour créer une courroie de transmission des informations entre les SCE (niveau opérationnel) et la planification (niveau stratégique), on a vu apparaître les *Enterprise Resources Planning* (ERP) qui permettent de réactualiser le suivi et la conduite des stratégies.

Afin d'introduire le temps réel dans la planification, les entreprises recourent aux *Advanced Planning Systems* (APS) qui sont finalement les logiciels qui correspondent le mieux aux besoins des *supply chain* parce qu'ils sont capables de connecter en temps réel l'opérationnel et la planification.

Enfin, pour relier la gestion des clients d'un point de vue marketing aux bases de données ERP ou APS, on dispose des *Customer Relationship Management* (CRM).

Pour plus de précisions et de détails sur ces différents types de logiciels, on peut se reporter fort utilement au chapitre 13.

4.4 *Supply chain* et informations de gestion

La plupart des informations utiles à l'analyse de la chaîne de valeur de la chaîne logistique globale sont issues du contrôle de gestion.

Il s'agit d'informations tant de performance où le coût est rapporté à un résultat obtenu, que d'efficacité où le coût est rapporté au temps nécessaire à l'obtention du résultat, mais aussi d'efficience où les indicateurs d'efficacité sont séparés entre eux...

Pour obtenir les informations utiles à la *supply chain*, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Ces méthodes sont basées sur la nécessaire structuration en processus et la logique d'identification des chaînes de valeur.

La première méthode qu'il convient d'évoquer est le *Target Costing*, méthode japonaise qui a pour objectif de préciser la conception des produits nouveaux à développer tout en assurant la rentabilité future de la *supply chain*. Cette méthode détermine à partir du prix de vente marché et de la marge souhaitée par l'entreprise le coût de revient cible, coût de revient maximal imposé pour réaliser le produit (ce coût incluant tous les éléments traditionnels de calcul de coût y compris les coûts de développement produit). Si l'on constate que le coût estimé prévisionnel du produit n'entre pas dans l'enveloppe définie par le coût de revient cible, on ne va pas aller plus loin, on ne va pas développer le produit (sauf pour des raisons stratégiques, d'analyse en portefeuille de produits).

La deuxième méthode que l'on peut évoquer est la méthode *Activity Based Costing - Activity Based Management (ABC-ABM)* ou gestion par activités. Cette méthode qui provient des États-Unis commence véritablement à se développer. Elle consiste à :

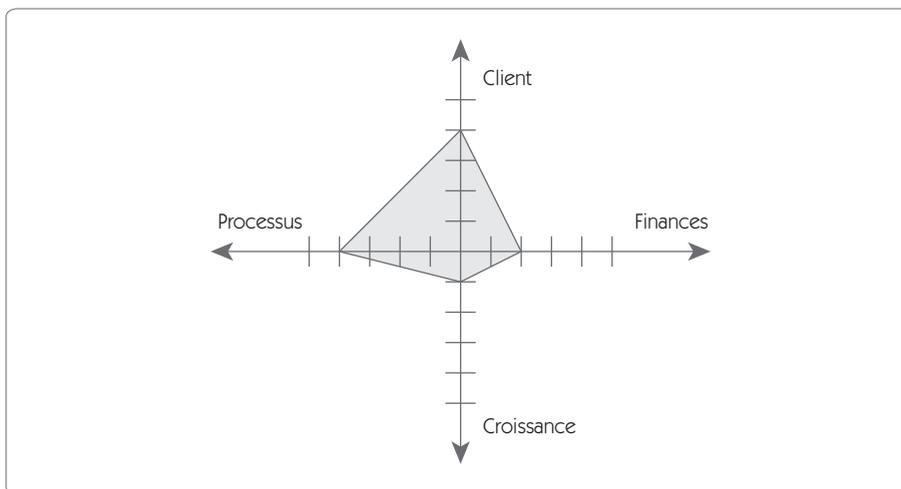
1. identifier pour chaque dépense son origine, sa nature, et l'activité concernée ;
2. utiliser l'activité pour rechercher les causes de non-performance ;
3. allouer la dépense aux produits correspondants.

Elle va permettre de fournir des informations chiffrées à la démarche de progrès continu pour obtenir des coûts de revient fiables pour l'analyse stratégique.

On peut aussi parler de la pratique très répandue dans les entreprises et très complémentaire à l'utilisation d'une gestion par activités des *indicateurs de performance*. Cette méthode consiste à utiliser aussi bien au niveau stratégique qu'au niveau tactique et opérationnel une chaîne d'indicateurs physiques ou financiers créés à partir du déploiement des objectifs de la stratégie de la *supply chain* à chaque niveau de celle-ci. Indissociables des plans d'actions d'amélioration, ces indicateurs sont là pour mesurer et orienter les décisions. Pour plus d'informations, le lecteur pourra se rapporter au chapitre 11 de cet ouvrage.

Enfin, il faut évoquer pour terminer la méthode qui semble la plus intéressante au niveau de la réflexion *supply chain*. Il s'agit du *Balance Scorecard*. Cette méthode cherche à mesurer les performances qui servent les stratégies de la *supply chain*. Pour ce faire, le Balance Scorecard a choisi quatre axes pour calculer le score d'une entreprise. Le score, c'est la valeur numérique de synthèse qui représente, dans une unité cohérente, la synthèse du degré de réussite de la *supply chain*.

Figure 12.5 – Les axes du *Balance Scorecard*



Voici les quatre axes retenus :

1. L'axe financier comportant une estimation de l'évolution du chiffre d'affaires, une évaluation du taux de rotation des actifs, une appréciation sur les gains de productivité... C'est l'axe le plus regardé pour aider l'entreprise dans son développement futur.
2. L'axe client déterminant le positionnement de la *supply chain* sur son marché au moyen du taux de service client-livraison, l'évolution des parts de marché... Cet axe permet de savoir l'image que la *supply chain* projette sur son marché, en d'autres termes, quel est son avenir.
3. L'axe processus interne évaluant le degré de réactivité de la *supply chain*, c'est-à-dire sa capacité à faire face à l'évolution des besoins des clients finaux et donc sa capacité à proposer de nouveaux produits, à mettre en place de nouveaux processus. Cet axe est la condition nécessaire pour réussir l'amélioration des processus et obtenir la maîtrise des procédés.
4. L'axe croissance et savoir faisant référence à la capacité de la *supply chain* à maîtriser son savoir pour progresser.

Ces quatre axes doivent être non pas additionnés mais corrélés pour mesurer les impacts respectifs de chacune des performances en matière de rentabilité et de niveau de service client. C'est la corrélation des quatre axes qui va permettre de fixer le score à atteindre pour que la *supply chain* soit performante.

5. Les conséquences de ce mode de fonctionnement

Les entreprises qui vont s'intégrer dans une approche logistique globale vont chercher à identifier leurs activités clés, c'est-à-dire celles qui sont à l'origine de la création de valeur pour le client ; les autres activités viendront en support de ces activités valorisantes. Cela va se traduire souvent par l'externalisation de certaines activités auprès d'autres maillons de la chaîne. Ce n'est donc pas par hasard si l'on

assiste aujourd'hui à une vague d'externalisation sans précédent, supposant toutefois une bonne synchronisation des différents acteurs, de leurs actions et de leur système d'information.

La chaîne logistique globale intègre l'ensemble des processus nécessaires pour obtenir et livrer les produits du fournisseur initial au client final. Elle impose donc une planification globale liant tous les acteurs sans exception. Cette planification globale se doit d'être relayée par un travail aussi bien au niveau stratégique que tactique et opérationnel. Le but étant que chacun des maillons de la chaîne identifie ses problèmes et les résolve pour empêcher leur diffusion chez les autres.

Par exemple, un gros fournisseur de tôles d'acier pour l'automobile propose à ses clients de prendre directement à sa charge l'approvisionnement en acier. Une capacité de l'unité de production est réservée au constructeur à partir d'engagements respectifs. Virtuellement, le constructeur automobile dispose donc d'un outil de production chez son fournisseur. L'appel est tiré par la demande et les conditions de prix sont fonction du respect des engagements. Le package inclut également un service de dépannage et la mise à disposition de stocks éventuels sous certaines conditions. Dans ce projet *supply chain*, le souci pour le fournisseur d'acier est clairement de maîtriser la chaîne logistique jusqu'à la machine du client et d'associer un service à ses produits permettant d'augmenter la création de valeur. L'intérêt pour le client est la garantie d'un approvisionnement sans heurt et à coût minimal (sous réserve qu'il respecte ses engagements) de ses lignes de production en se déchargeant des activités d'approvisionnement qui ne font pas partie du cœur de son métier.

5.1 La virtualisation des entreprises

Dans le contexte de la chaîne logistique globale, les différentes entreprises maillons sont amenées à collaborer étroitement les unes avec les autres. Ce contexte se traduit par la création d'entreprises virtuelles. En effet, les entreprises maillons combinent leurs forces pour atteindre un objectif commun. Mais une fois cet objectif atteint, l'entreprise virtuelle que constitue la *supply chain* disparaît le plus souvent pour refaire place aux organisations qui la composaient.

Cela ressemble beaucoup aux entreprises qui se structurent par projet, où chaque fonction concernée contribue à l'apport de valeur dans le but de mener le projet à son terme. Quand le projet est terminé, chaque fonction aura d'autres missions et en particulier pourra participer à un autre projet.

Au niveau de la *supply chain*, c'est la même logique : une entreprise pourra être l'un des maillons d'une chaîne logistique, puis retrouver son « indépendance » et participer à une autre chaîne, et ainsi de suite...

5.2 Les obstacles rencontrés

Comme nous l'avons précisé au début de ce chapitre, le premier objectif visé lors de la création d'une *supply chain* est l'optimisation des résultats de la chaîne, ce qui ne se traduit pas forcément par l'optimisation des résultats pour chacun des maillons de la chaîne et qui ne va pas sans poser de problème.

5.2.1 Les clivages internes

Il est souvent très difficile de faire comprendre aux différents maillons de la chaîne qu'il est nécessaire de partager les pouvoirs, les profits et l'information, et ce, que les entreprises appartiennent au même groupe ou pas. Le fait d'être dépossédé du pouvoir que l'on avait depuis de nombreuses années au profit d'une entreprise parfois plus petite que soi, au niveau de laquelle on agissait en donneur d'ordre, est quasi impossible à faire passer. Et la notion d'augmentation du profit global n'y change rien... Elle ne signifie rien pour les entreprises concernées.

5.2.2 Les clivages externes

Les entreprises ont l'habitude de travailler pour elles-mêmes. Elles ont toujours fonctionné comme cela. L'intégration dans une chaîne globale doit les amener à faire évoluer la relation client/fournisseur. En général, on se heurte à un refus systématique d'aller dans ce sens, car les entreprises ont peur d'être perdantes dans la nouvelle relation.

5.2.3 La prédominance de l'opérationnel

Les entreprises ont toujours tendance à privilégier les recherches d'améliorations locales, rapides, sans préoccupation de l'augmentation de valeur globale de la chaîne.

5.2.4 L'absence d'un véritable système de mesure

Malgré la pertinence de l'utilisation de la méthode Activity Based Costing – Activity Based Management ou du Balance Scorecard, il n'y a pas de vrai système de mesure qui permette d'évaluer précisément la contribution respective des différents éléments de la chaîne logistique dans l'optique du service au client final.

5.2.5 La peur d'un changement radical de l'organisation

La *supply chain* se traduit bien évidemment par des transformations profondes au niveau de chaque maillon. Certains maillons ont le sentiment d'être perdants dans la nouvelle organisation globale, ce qui rend les entreprises très circonspectes par rapport à ce type de révolution. D'une manière générale, les entreprises ne souhaitent pas y aller !

6. Conclusion

Un projet de chaîne logistique globale est finalement un projet multi-fonctions et multi-entreprises qui met en évidence la nécessité de mutualiser un certain nombre de responsabilités. Cela se traduit donc presque automatiquement par une redistribution des rôles et des pouvoirs qui est fortement perturbante pour l'organisation, compte tenu des réactions qu'elle engendre.

Les expériences de *supply chain* réussies sont encore très rares à observer. Mais nombreux sont les groupes d'entreprises qui ont la volonté d'y parvenir. Les années à venir nous éclaireront mieux sur les capacités de certaines à se transformer profondément.

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

Elle est aussi plus facile à réaliser quand toutes les entreprises constituant la chaîne appartiennent au même groupe : il y a alors une volonté réelle d'avancer dans le même sens pour le bien du groupe dans sa globalité.

En revanche, quand la chaîne logistique est longue et qu'en plus, les différents maillons de la chaîne appartiennent à des groupes différents, de surcroît des groupes importants, la création de la *supply chain* bute alors sur de nombreuses difficultés et, en particulier, les entreprises constituantes ont beaucoup de mal à accepter de perdre une partie de leurs pouvoirs. Il suffit d'observer ce qui se passe aujourd'hui dans le monde de l'automobile où s'affrontent des groupes importants sur une même chaîne logistique comme Arcelor, Renault, Valéo, Bosch... Les améliorations *supply chain* restent dans ce type de situation limitées à des expériences de mini-*supply chains*, parties de la chaîne complète...

Chapitre 13

Gestion de production et système d'information

1. L'évolution de l'offre logicielle

1.1 Introduction

La gestion de production manipule un nombre très important de données. Elle est donc par nature intimement liée au système d'information de l'entreprise et à l'offre logicielle présente sur le marché qui a considérablement évoluée ces dernières années. En effet, alors que très longtemps elle a été concentrée autour de la GPAO (Gestion de production assistée par ordinateur) et des logiciels d'ordonnancement et de suivi de production, on a vu apparaître de nombreux sigles nouveaux (ERP, SCM, APS, MES...) que nous allons définir dans ce chapitre. Cette évolution correspond à la fois à une évolution des fonctions de bases intégrées dans les logiciels de GPAO, mais également à une intégration de fonctionnalités connexes qui a considérablement modifié la

portée de la gestion industrielle. Cette intégration s'est réalisée sous forme verticale (depuis la gestion du poste de travail jusqu'aux planifications stratégiques), mais aussi horizontale par la prise en compte des contraintes multi-sites et des relations clients-fournisseurs. Cette intégration horizontale prend un essor vital pour l'entreprise avec le développement de l'e-commerce qui demande un raccourcissement extrême des délais entre la commande du client et le début de la chaîne logistique.

Dans ce chapitre, nous allons utiliser de nombreux acronymes. Afin de simplifier la lecture de tous ceux qui ne sont pas habitués à ces appellations, nous regroupons ci-après les principales abréviations utilisées :

APS : Advanced Planning and Scheduling

CRM : Customer Relationship Management

EAI : Enterprise Application Integration

ERP : Enterprise Resources Planning

GPAO : Gestion de production assistée par ordinateur

MES : Manufacturing Execution System

PDP : Programme directeur de production

PIC : Plan industriel et commercial

PGI : Progiciel de gestion intégré

SCM : Supply Chain Management

SGDT : Systèmes de gestion des données techniques

1.2 Rôle et limites de l'informatique

L'ordinateur a trois fonctions essentielles. Il permet :

- **d'effectuer des calculs** rapidement et sans erreur. Même s'il s'agit de calculs simples (additions, multiplications...), leur nombre très important fait qu'il n'est pas possible de les effectuer sans le concours d'un ordinateur ;

- de **stocker de nombreuses données** d'une manière fiable et pratique à condition simplement d'organiser la base de données et d'effectuer les sauvegardes périodiques. Nous savons, notamment, qu'en matière de données techniques, l'entreprise a un nombre considérable de valeurs à stocker ;
- de **gérer la circulation des informations**, notamment par l'intermédiaire de réseaux (réseau interne, intranet, Internet).

L'ordinateur est donc un outil précieux au service, entre autres, de la gestion industrielle. Mais il faut bien avoir à l'esprit qu'il exige une *rigueur* sans faille. L'informatisation ne résout pas les problèmes existants : il faut mettre en évidence les *dysfonctionnements* et les *corriger avant d'informatiser*. En effet, rien n'est plus flexible que l'être humain et informatiser les dysfonctionnements est catastrophique.

On voit bien que la mise en place ou la réorganisation de la gestion industrielle d'une entreprise implique une démarche complète de projet et ne peut être réduite à la simple mise en place d'un progiciel.

1.3 Domaines d'application en gestion industrielle

Au sein de l'entreprise, l'informatique intervient essentiellement dans :

- la **gestion des matières**, c'est-à-dire l'approvisionnement, la gestion des divers stocks et en-cours, la distribution vers les clients internes (autres unités de la même entreprise) ou clients extérieurs ;
- la **gestion des moyens de production**, notamment les machines et la main-d'œuvre pour lesquelles il faut adapter charges et capacités ;
- la **gestion administrative de la production**, en établissant une *planification* puis un *pilotage de l'exécution* mais aussi en renseignant les autres fonctions de l'entreprise (comptabilité, finances, service des Méthodes, bureau d'études...).

1.4 Retour sur l'offre traditionnelle

L'apport des progiciels est naturellement très différent selon les concepts de gestion de production employés dans l'entreprise.

Une entreprise fabriquant des produits structurés à partir de composants parfois communs ou à partir de sous-ensembles standard planifie sa production dans un contexte MRP2.

Dans les entreprises fabriquant des produits complexes, unitaires et à cycle de production long, il s'agit de gestion de *projet*. Le progiciel doit alors gérer les tâches en s'attachant au respect des délais. Il est éventuellement possible de suivre les coûts (chapitre 4). Le progiciel permet également de coordonner plusieurs projets et de gérer notamment les ressources communes.

Les travaux de systémique ont conduit à décomposer le fonctionnement de la gestion industrielle en sous-systèmes : le système physique, le système d'information et le système de décision. Le premier recouvre les ressources de l'entreprise qui permettent de procéder à la fabrication, le second est le support des informations circulant autour des produits et des ressources alors que le troisième fera des choix et décidera.

Comme cela a été vu précédemment et décrit au travers de la logique de MRP2, les systèmes d'information et de décision ont été découpés selon une hiérarchie à trois niveaux : le long terme correspondant au Plan industriel et commercial (PIC), le moyen terme avec le Programme directeur de production (PDP) et le court terme au niveau de l'atelier (ordonnancement, suivi d'atelier). On peut y ajouter un niveau de très court terme pour le contrôle de commande. Cela correspond à des horizons de plus en plus courts (années, mois, semaines ou jours...) et un découpage en périodes de plus en plus fines (mois, semaines, jours, heures...).

Les logiciels traditionnels correspondent à cette hiérarchie :

La **GPAO** couvre essentiellement les niveaux programmes directeurs de production, calculs des besoins nets avec les calculs de charge associés (elle intègre les fonctions associées de gestion des données techniques produits et ressources, gestion des stocks...). Les logiciels reprennent alors les diverses fonctions décrites au chapitre 7. On peut les résumer en citant :

- les prévisions de la demande normalement réalisées par le service Commercial (chapitre 3) ;

- la planification par familles de produits (plan industriel et commercial), très simple, et qui est donc souvent réalisée avec l'aide d'un tableur ;
- la planification des produits finis ou modules standards (programme directeur de production) et le calcul des charges globales ;
- le calcul des besoins en composants et matières premières conduisant à une proposition des ordres de fabrication et d'approvisionnement et le calcul des charges détaillées ;
- la gestion d'atelier comportant l'ordonnancement, les listes de priorités puis le lancement et le suivi d'exécution ;
- les coûts de revient prévisionnels ou réels...

Les logiciels d'ordonnancement organisent le court terme dans l'atelier en positionnant les travaux en fonction des ressources en hommes et en machines. Certains logiciels incorporent des modules juste-à-temps afin de faire le lien entre la planification de type MRP2 et un fonctionnement des ateliers en JAT. Il peut notamment y avoir une édition de Kanban sur des produits qui tireront la production des postes amonts.

Les logiciels de suivi servent d'interface entre le système physique et le système d'information et alimentent ce dernier.

On constatait donc une adéquation de l'offre logicielle traditionnelle au découpage du temps proposé dans les chapitres précédents.

Outre ces logiciels de planification et de pilotage de la production, on peut également noter les outils de *simulation de flux*. Ils permettent de créer un modèle pour simuler des flux physiques ou d'information. Ils ne sont pas encore très répandus dans les entreprises en raison de leur coût et de leur difficulté d'utilisation et d'interprétation. Cela est vrai en particulier pour les petites entreprises qui ne les utiliseraient que de temps à autre. Or ces outils sont d'un intérêt considérable, car ils permettent de résoudre assez rapidement des problèmes complexes et surtout d'obtenir les résultats sans essais réels.

Dans la fonction Gestion de la production, la simulation est intégrée à la fois à la démarche de conception et à la conduite du processus. Elle a en effet deux objectifs essentiels :

- aider à la conception et à l'implantation des ateliers, c'est-à-dire à la définition du système projeté et à l'évaluation de son comportement (méthode complémentaire à celles vues au chapitre 2) ;
- aider à la conduite du processus de production, c'est-à-dire au choix parmi diverses solutions, à l'évaluation du carnet de commandes, à l'étude de fonctionnements dégradés par les aléas, à la planification des maintenances...

Les méthodes employées sont fondées sur la gestion de files d'attentes, sur des modèles graphiques (GRAFSET, réseaux de PETRI), et maintenant sur les approches objets introduites en informatique. La tendance est à réaliser des outils conviviaux et simples à utiliser, tout en conservant puissance et utilisation générale à un coût abordable, notamment par les petites entreprises.

1.5 L'évolution par l'intégration

Une grande tendance s'est développée et a conduit aux logiciels arrivés sur le marché à la fin du siècle dernier : c'est la notion d'*intégration*. En effet, l'entreprise qui informatisait ses fonctions se retrouvait avec des logiciels indépendants les uns des autres. Ceux-ci ne pouvant pas échanger entre eux, il s'ensuivait une saisie multiple des mêmes données avec évidemment des risques d'erreurs et même de contradictions ! Au-delà d'un échange par interfaçage, c'est-à-dire par des fichiers communs, l'idée la plus rationnelle a paru de construire un ensemble de logiciels autour d'une base de données commune. Il en résulte une *intégration des fonctions de l'entreprise* (processus transversaux). En outre, on comprend toute la démarche commencée par les grands groupes visant à unifier les méthodes de travail entre *différents sites* et à obtenir aisément l'ensemble des données de toutes natures (et notamment financières) des divers sites. Au-delà, le même principe d'intégration appliqué à l'environnement d'une entreprise (fournisseurs et clients) conduit au processus transversal inter-entreprises de *chaîne logistique*.

Nous verrons que, en suivant cette idée, les nouveaux logiciels correspondent soit à une filiation des logiciels existant auparavant, soit à une approche différente mais qui s'inscrit dans le même esprit de globalisation et de transversalisation.

2. Les ERP (*Enterprise Resources Planning*)

2.1 Définition

Un ERP ou progiciel de gestion intégré (PGI) est destiné à la gestion globale des différents flux de l'entreprise aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Il met en commun, pour les diverses entités et fonctions, l'ensemble des données nécessaires à cette gestion dans une base de données unique.

Nous reprendrons les définitions complémentaires données par deux organismes réputés compétents en la matière : le CXP, organisme français (Conseil sur les systèmes d'information à base de progiciels, www.cxp.fr), et l'APICS, association américaine (American Production Inventory Control Society, www.apics.org) de notoriété internationale. Nous les compléterons par le standard extrait du marché.

Pour le CXP, un progiciel de gestion d'entreprise est dit intégré s'il vérifie l'ensemble des conditions suivantes : s'il émane d'un fournisseur unique, *garantit l'unicité de l'information*, assure une mise à jour en temps réel des données et fournit les éléments d'une traçabilité totale des opérations.

L'APICS considère qu'un ERP est un système d'information orienté comptabilité permettant de gérer toutes les ressources nécessaires pour satisfaire le besoin du client. Il correspond à une extension des systèmes MRP2 comportant les technologies suivantes : base de données relationnelle, architecture client-serveur, interface homme-machine unifiée et commune, système ouvert...

Ces définitions ne donnent pas de précision sur les aspects fonctionnels mais la concentration du marché sur quelques éditeurs permet d'identifier clairement cinq domaines de compétence :

- gestion de la production ;
- gestion des stocks, des approvisionnements et des achats ;
- gestion commerciale ;
- gestion des ressources humaines ;
- gestion comptable et financière.

2.2 Fonctionnalités et modularité

Les cinq domaines qui viennent d'être décrits, assez généraux, se décomposent en sous-groupes qui correspondent à peu près au découpage modulaire des logiciels proposés :

- La gestion financière a pour objectif de maîtriser la situation financière de l'entreprise. Elle gère les livres comptables, les comptes des clients et des fournisseurs, les immobilisations. Elle permet également de consolider les états financiers des diverses filiales.
- Le contrôle de gestion permet d'analyser à l'aide de tableaux de bords la rentabilité de l'entreprise sous divers angles (par produits, par processus, par types d'activité...).
- La gestion de projet planifie et contrôle les étapes d'un projet et la disponibilité des ressources nécessaires à sa réalisation.
- L'administration des ventes gère les différentes activités commerciales envers les clients, dont les supports de vente, la facturation, la gestion des expéditions.
- La gestion des ressources humaines met à disposition les outils permettant de gérer le personnel. Au-delà de la gestion des salaires et des activités corollaires, elle gère le recrutement, les absences et congés du personnel et, surtout, de plus en plus, les compétences des personnes.
- La gestion de la qualité assure l'enregistrement et la traçabilité des informations relatives à l'élaboration des produits.

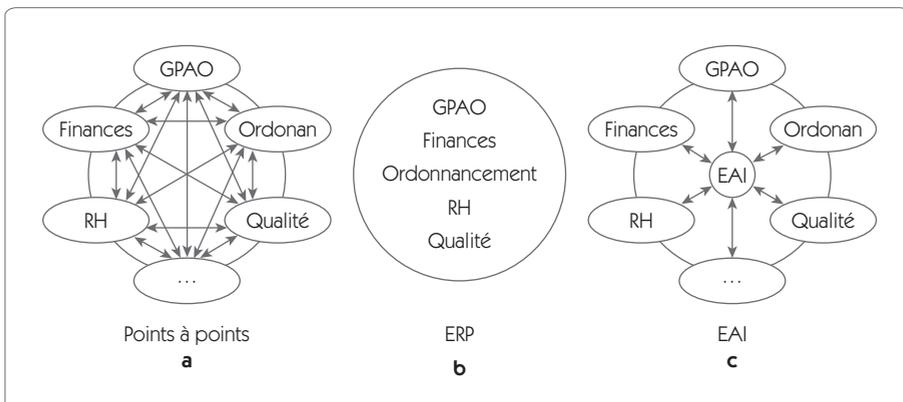
- La gestion de la production supporte évidemment la planification et l'exécution de la production sur les différents horizons comme nous avons pu le voir (PIC, PDP, CBN, gestion d'atelier), et elle gère les données techniques associées comme dans les progiciels de GPAO.
- La gestion des achats gère le processus d'achat auprès des fournisseurs avec notamment leur évolution et le contrôle de la facturation.
- La gestion des approvisionnements et des stocks planifie les besoins en matières et composants achetés en optimisant niveaux des stocks et des emplacements.

Ces diverses catégories se retrouvent dans les différentes offres du marché. Elles constituent le noyau du système d'information et servira aux différents acteurs de l'entreprise. L'adaptation à l'entreprise de ces progiciels est réalisée par un paramétrage important qui nécessite un effort considérable de structuration de l'entreprise pour « faire coller » son mode de fonctionnement aux possibilités du progiciel.

2.3 Nature de l'intégration

La nature de l'intégration peut être plus ou moins profonde, allant de l'interfaçage d'applications existantes, à la base de données unique, servant à tous les modules.

Figure 13.1 – Différentes approches de l'intégration



L'interfaçage d'applications existantes est une connexion de type point à point (figure 13.1a) qui a engendré, par le passé, beaucoup de travail pour les Sociétés de services informatiques (SSII) puisqu'il faut $N(N-1)/2$ interfaces pour connecter N modules. Il s'agit donc d'une approche lourde, coûteuse et peu pérenne (en cas d'évolution des logiciels). En revanche, elle présente l'avantage d'utiliser les logiciels de chaque fonctionnalité.

Comme nous l'avons vu, les éditeurs d'ERP ont opté pour le développement de gros logiciels couvrant l'ensemble des fonctions permettant de gérer l'entreprise (figure 13.1b). La plupart du temps, ils sont partis d'un noyau dur relatif à une application particulière (la production, la finance...) et ont gonflé leur offre par développement d'applications supplémentaires ou par intégration d'applications existantes. On s'attend à ce que l'unicité de l'information soit assurée par une base de données unique, commune aux divers modules. Ce n'est pas toujours le cas mais l'utilisateur ne le voit pas *a priori*. Dans ce contexte, le rôle des SSII a évolué vers le déploiement de l'ERP qui nécessite une réorganisation en profondeur de l'entreprise, de ses données, puis un paramétrage du progiciel devant s'adapter aux spécificités de l'entreprise. La SSII assurera en outre un certain nombre de développements adaptés au fonctionnement spécifique de l'entreprise.

Une troisième solution, séduisante mais encore peu utilisée en pratique à ce jour, est constituée par les EAI (*Enterprise Application Integration*) qui permettent d'interfacer les diverses applications de gestion informatique de l'entreprise existantes (figure 13.1c). Cet interfaçage standard est constitué d'un moteur d'intégration (*Message Broker*) qui permet aux applications de communiquer entre elles grâce à une couche basse de transport de données (*Middleware*). Ces solutions cherchent à se positionner en tant que solution de substitution aux ERP, mais aussi comme un complément. C'est sans doute d'ailleurs en tant que complément que l'avenir des EAI est le plus ouvert.

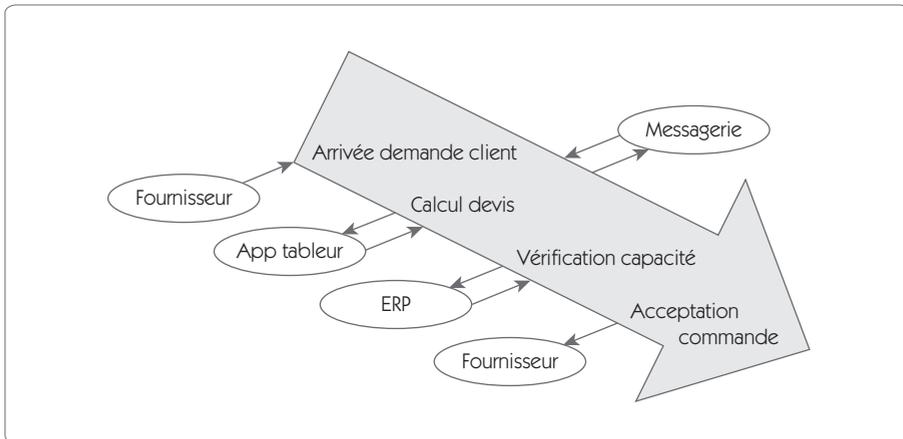
En effet, quel que soit l'ERP, il existera toujours dans un coin ou dans un autre un logiciel traitant un point particulier du métier de l'entreprise qui aura besoin de communiquer. Dans ce cas, se reposera le problème de la connexion point à point des logiciels.

En ce qui concerne leur structure, les EAI les plus performants sont organisés pour matérialiser, dans le système d'information, les processus de l'entreprise. Ainsi, en figure 13.2, on a représenté le processus de revue de contrat existant dans le référentiel ISO 9000 de l'entreprise matérialisé dans l'EAI. Bien que l'entreprise soit équipée d'un ERP très sophistiqué, on constate néanmoins qu'il reste un certain nombre de connexions nécessaires entre des applications très différentes :

- On doit récupérer les données techniques et administratives de la commande directement du fournisseur.
- Le calcul de devis étant très spécifique, il a été développé en solution locale sur un tableur.
- La vérification de la capacité pour accepter le délai nécessite un dialogue avec l'ERP.
- L'acceptation doit être transmise au fournisseur.
- Tout au long du processus, les différents acteurs doivent être informés de l'avancement de la procédure et parfois donner leur accord. Cela nécessite une connexion avec la messagerie interne de l'entreprise.

Une application EAI performante doit être capable de décrire les procédures de l'entreprise et de définir les connexions nécessaires entre les différents systèmes. Elle doit bien entendu fournir les outils capables de configurer toutes ces connexions depuis ou vers les différents systèmes hétérogènes.

Figure 13.2 – EAI à partir des processus



L'intégration horizontale du système d'information pousse à un échange d'information de plus en plus important entre différentes entreprises. Si l'ERP monolithique s'est plus ou moins imposé au sein d'une même entreprise, il semble difficile d'envisager qu'un macro ERP permette en un seul produit de faire fonctionner l'ensemble de la chaîne logistique. Dans ce contexte, l'EAI s'impose comme étant une solution prometteuse. Capable de garantir les échanges entre deux ERP, l'EAI est *a fortiori* capable d'assurer l'échange d'information entre plusieurs applications recouvrant chacune une fonction de l'ERP.

2.4 Mise en place et marché des ERP

Comme il vient d'être dit, les ERP sont des solutions lourdes à mettre en place bien que modulaires. Les entreprises se font accompagner par des sociétés de consultants qui doivent avoir des compétences à la fois en organisation et en informatique.

Les années précédant le passage à l'an 2000 et le passage à l'euro ont donné lieu à de nombreux projets de cette nature. Les grandes sociétés multi-sites et multinationales ont initié le mouvement, puis ce fut au tour des PME les plus grosses. Aujourd'hui, les plus petites d'entre

elles sont concernées pour des raisons techniques, légales ou économiques mais aussi en vue de se doter d'un support du système d'information réactif pour accroître leur performance globale.

Les éditeurs de progiciels intégrés ont aujourd'hui enrichi leur offre avec de nouvelles fonctionnalités comme le management de la chaîne logistique (*Supply Chain Management* ou SCM), le management de la relation client (*Customer Relationship Management* ou CRM), le commerce électronique (e-Business)...

3. Les MES **(*Manufacturing Execution System*)**

3.1 Définition

Il s'agit d'une intégration au niveau de l'atelier. En effet, au niveau de l'atelier, les nombreuses fonctions qui se sont développées ont donné lieu à des applications informatiques : ordonnancement de la production, suivi de production, suivi des heures et des personnes, gestion de la qualité, suivi statistique de la qualité (SPC, pour *Statistical Process Control*, ou MSP, pour Maîtrise Statistique des Procédés), gestion de la maintenance, gestion de la documentation et des données techniques, suivi des actions correctives.

De la même façon que pour les ERP, la redondance des informations, en entrée ou en sortie, a conduit à la nécessité d'unicité de l'information et a donné naissance à une nouvelle offre logicielle : les MES.

3.2 Fonctionnalités

Les divers MES du marché présentent des différences parmi les fonctions assurées car les éditeurs se sont souvent spécialisés selon leur cible d'activité. Toutefois, on peut s'appuyer sur les onze fonction-

nalités identifiées par une association regroupant des sociétés impliquées dans le domaine des MES (éditeurs, consultants...), MESA International :

- ordonnancement à capacité finie (*Operations/Detail Scheduling*) qui définit le séquençement des opérations jugé optimal ;
- gestion des ressources de production (*Resource Allocation and Status*) qui définit l'utilisation et assure le suivi du personnel, des machines, des outils et de la matière ;
- la gestion des ordres de fabrication (*Dispatching Production Unit*) qui gère le flux des ordres et des lots et s'assure que tout ce qui est nécessaire sera disponible au moment du lancement ;
- la gestion des documents (*Document Control*) relatifs aux produits, aux process, à la conception et aux ordres de fabrication, et parfois aux conditions de travail et aux certifications ;
- la traçabilité des produits (*Product Tracking and Genealogy*) qui suit les produits en temps réel afin de conserver l'historique complet des composants utilisés et des conditions de production de chaque produit fini ;
- l'analyse des performances (*Performance Analysis*) qui suit les divers indicateurs de performance concernant les opérations de production (taux d'utilisation, temps de cycle, TRS...) ;
- la gestion du travail (*Labor Management*) assurant le suivi des temps machines et opérateurs, des activités indirectes (outils), du statut des opérateurs ;
- la gestion de la maintenance (*Maintenance Management*) permettant d'effectuer le suivi et la planification des activités de maintenance périodique ou préventive (alarmes, historique...) ;
- la gestion des process (*Process Management*) pour maîtriser la production avec correction et amélioration des activités (par exemple, alarmes si dépassement de tolérance ou mieux des limites naturelles) ;
- la gestion de la qualité (*Quality Management*) assure l'enregistrement et la traçabilité des informations relatives à l'élaboration des produits, le suivi des actions correctives et la capitalisation des connaissances (KM, pour *Knowledge Management*) ;

- l'acquisition de données (*Data Collection*) fournissant des interfaces pour collecter des données en temps réel sur les équipements de l'entreprise ou par relevé manuel des opérateurs.

3.3 L'offre du marché

Les MES se situent au niveau opérationnel des entreprises, or leurs modes de fonctionnement sont assez divers. Les besoins sont alors très variés et les éditeurs de logiciels proposent aujourd'hui des produits généralistes modulaires destinés à coller à l'éventail de la demande.

Certains éditeurs se sont spécialisés dans une fonction particulière du MES comme la maintenance (GMAO, pour Gestion de la maintenance assistée par ordinateur) ou la gestion de la qualité (GQAO). D'autres, au contraire, ont visé un secteur industriel ou un type de process et proposent une offre transversale plus ou moins complète. Dans ce cas, les progiciels ont tendance à déborder de la fonction de gestion de l'atelier vers le niveau de l'entreprise.

On pourra remarquer que certains éditeurs d'ERP proposent quelques fonctionnalités « hautes » du MES. Par ailleurs, les fournisseurs d'automatismes proposent souvent des logiciels de supervision avec leurs matériels et fournissent généralement les fonctionnalités « basses » du MES.

Nous ajouterons que certains produits de l'offre peuvent s'interfacer avec des logiciels spécialisés comme la GMAO (Gestion de la maintenance assistée par ordinateur) ou les APS (*Advanced Planning and Scheduling*), destinés à traiter la planification et l'ordonnancement, et que nous décrivons dans la section suivante.

4. Les APS (*Advanced Planning and Scheduling*)

4.1 Définition

Les APS ont commencé à apparaître au milieu des années 1990. Leur positionnement par rapport aux progiciels de la gestion industrielle est original. En effet, alors que les logiciels décrits précédemment n'opèrent que des transactions sur la base de règles définies *a priori* et notamment sur celle édictant que seul l'homme fait des choix parmi plusieurs possibilités, les APS vont au contraire introduire la prise de décision.

4.2 Fonctionnalités

La gestion de production n'a d'autre but que de satisfaire la demande externe grâce aux ressources de l'entreprise (stocks, machines, hommes, sous-traitance...) avec des contraintes de satisfaction du client et de coût de revient. Les questions fondamentales qu'elle se pose sont *quoi ?* (choix de ce qu'il faut fabriquer, approvisionner, sous-traiter...), *où ?* (choix de machine, atelier, site...), *quand ?* (positionnement dans le temps pour satisfaire au moment de la demande), *comment ?* (procédé, gammes, ressources humaines...). Les systèmes MRP2 réagissent aux demandes fournies à l'aide de paramètres fixés par les hommes (horizons, périodes, lots, gammes, postes, lancement des calculs, choix de sous-traitance...) : ils ne font donc que des transactions et ne prennent pas de décisions (validation des PDP, lancement des OF...). Les logiciels d'ordonnancement entrent dans une boucle de décision plus complexe puisqu'ils positionnent dans le temps des opérations sur des ressources machines selon des gammes et en affectant des opérateurs, le tout avec des contraintes de disponibilité (dont les calendriers) et de compétence. Ils travaillent avec une certaine intelligence grâce à un algorithme mais ne choisissent pas une gamme secondaire à la place de la principale et les calendriers sont fixés... Le rôle décisionnel reste donc confié à l'homme.

Pour prendre les décisions, l'homme modélise ses problèmes et cherche la meilleure solution par optimisation ou simulation. L'APS va jouer ce rôle : il permettra de modéliser des contraintes, d'exprimer des fonctions de coût et de rechercher des valeurs de variables de décision qui optimisent les critères. L'optimisation est réalisée grâce à des moteurs de résolution basés sur la programmation linéaire ou des outils de programmation de contraintes. Ainsi, l'APS pourra par exemple proposer les meilleurs choix de gamme, les meilleures affectations, les sous-traitants appropriés selon les critères choisis. Ils pourront être utilisés non seulement au niveau interne à l'entreprise (ordonnancement ou calcul des besoins) mais aussi au niveau global de la chaîne logistique.

Le gros avantage de cette nouvelle vision est de supprimer le découpage en niveaux successifs des niveaux de nomenclature (entre ateliers mais aussi entre entreprises) avec des délais fixés, pour lui substituer une vision de l'ensemble de la chaîne logistique couvrant tous les ateliers ou les usines concernées. Il y a suppression des frontières spatiales et des horizons figés pour aller vers une vision en temps réel de l'ensemble.

Le principal inconvénient réside justement dans cette soi-disant suppression des frontières. On risque de voir des entreprises qui souhaitent supprimer les couches hautes de la GPAO (PIC et PDP) pour gérer l'ensemble de la production à partir d'un APS. Passé par la moulinette de l'arborescence des produits, le moindre problème de capacité qui ne sera plus géré au niveau PIC se démultipliera en de multiples problèmes accroissant de façon considérable la complexité des solutions MES.

4.3 Le marché des APS

Il y a trois grandes familles dans les APS selon leur origine. Certains proviennent de la logistique et du transport avec gestion des entrepôts, d'autres dérivent de l'ordonnancement et enfin les derniers correspondent à l'offre ERP. La majeure partie de l'offre vise la gestion globale de la chaîne logistique.

5. Les SGDT (Systèmes de gestion des données techniques)

5.1 Définition

Les SGDT (ou PDM pour *Product Data Management*) sont issus du monde de la CAO (Conception assistée par ordinateur). À l'origine, ils étaient utilisés pour la gestion des données d'ingénierie mais ils ont pris au fur et à mesure une toute autre dimension. Ils fournissent un référentiel de données produit/process partagées par les acteurs de l'entreprise, qu'ils soient créateurs ou utilisateurs d'informations sur les produits. Leur vocation s'est donc étendue et ils constituent un support au système d'information centré autour du produit.

La gestion des données techniques est un point extrêmement important pour une entreprise. Toutes les méthodes que nous avons développées dans cet ouvrage reposent sur des données techniques. Un point fondamental qu'il est bon de répéter est celui de l'indispensable fiabilité des données comme nous l'avons souligné au chapitre 6. En effet, comment envisager de planifier et piloter une production avec des données erronées ?

Mais d'un point de vue informatique, la difficulté ne s'arrête pas là ; en effet, les données techniques doivent pouvoir être mises en forme selon différents points de vue. Par exemple, à partir d'un produit fini, je dois être capable de voir :

- l'arborescence des composants du produit ;
- pour chaque composant, la liste des opérations de fabrication ;
- pour une opération de fabrication, la liste des documents de travail nécessaires.

Cette première arborescence est une vision produit, mais on peut obtenir une vision processus en partant d'une instruction de travail sur un poste pour lequel je veux connaître :

- la liste des opérations pour lesquelles elle est applicable ;
- la liste de composants concernés par cette instruction ;
- la liste des produits finis comportant un tel composant.

Enfin, une des difficultés majeures réside encore dans l'intégration. En effet, les données techniques ne sont jamais issues d'un seul et même logiciel, et pourtant un SGDT doit être capable de gérer l'ensemble des formats de fichiers.

5.2 Fonctionnalités d'un SGDT

Tout d'abord, une première exigence d'un SGDT est de constituer une sorte d'armoire électronique sécurisée puisqu'il assure le stockage, l'accès sécurisé et le partage de l'information technique pour l'ensemble des acteurs de l'entreprise.

Un tel logiciel permet ensuite de classer et regrouper l'information dans le but de faciliter la standardisation, la réutilisation et la recherche de l'information (familles d'objets, typologies de liens, bibliothèques de composants).

Le SGDT gère la configuration du produit et son évolution, mais au travers de vues adaptées aux multiples intervenants, et peut agréger les données au sein de dossiers spécifiques (dossier de définition, dossier d'exécution, dossier de configuration finale) selon la vie du produit.

Les SGDT doivent gérer les modifications des processus industriels et l'évolution des produits. Ces processus sont généralement considérés comme des processus de workflow, c'est-à-dire une démarche consistant à concevoir, contrôler, automatiser et suivre les circuits du flux des documents, et plus généralement de l'information dans l'entreprise.

Enfin, bien que non spécifique des SGDT, la gestion de projet est une brique nécessaire dans la planification et le suivi des tâches et des ressources à toutes les étapes de la vie du produit. À ce titre, c'est un élément permettant le pilotage et l'intégration des processus informationnels aux niveaux décisionnel et opérationnel de l'entreprise.

6. Conclusion

Les ERP et les MES correspondent à la notion d'intégration des différentes fonctions de l'entreprise et la création de processus transversaux. On y retrouve bien un noyau de logiciels de GPAO, de gestion comptable ou financière qui se sont développés par ajout d'applications et de fonctionnalités autour d'une base de données commune. On reconnaît là une évolution rationnelle et conventionnelle du support informatique de l'entreprise.

Au contraire, les APS correspondent à une intégration comportant un esprit nouveau puisqu'il y a intégration de la décision et qu'il porte sur l'ensemble de la chaîne logistique. Cette approche est donc beaucoup plus révolutionnaire avec une filiation logicielle moins naturelle à partir des logiciels de la gestion industrielle.

Quant aux SMDT, nous les avons cités ici car ils touchent aux diverses fonctionnalités de la gestion industrielle et de ses processus transversaux. Ils ont la caractéristique d'être centrés sur les informations des produits et constituent un sous-ensemble du système d'information.

Chapitre 14

Mise en œuvre d'un projet de gestion industrielle

1. Introduction

Dès le premier chapitre de ce livre, nous avons souligné combien il est impératif de gérer la production dans un but de compétitivité et donc de pérennité, sinon de survie, de l'entreprise dans le concert de la concurrence mondiale actuelle. Le projet de gestion industrielle est cependant trop souvent assimilé dans les entreprises à un projet informatique. Or, autant nous sommes tous d'accord pour mettre en avant le rôle indispensable de l'informatique dans ce domaine, autant la réussite du projet et la qualité de la gestion industrielle résultante reposeront sur la motivation des hommes et leur connaissance en matière de gestion et organisation de la production. Précisons notre propos quant à la GPAO (Gestion de production assistée par ordinateur) : il s'agit bien de faire de la *GPao* et non de la *gpAO* !

Lorsqu'on met en œuvre un système du type ERP, c'est encore plus crucial et tous les acteurs de l'entreprise sont actifs dans le grand projet.

Une des caractéristiques principales de la mise en œuvre d'un projet de gestion industrielle est la gestion de l'interpénétration des fonctions dans l'entreprise. En effet, un tel projet va impliquer des choix sur :

- les relations avec les partenaires (clients et fournisseurs) ;
- le système de gestion de l'entreprise et le système d'indicateurs de performance ;
- les modes de fonctionnement des ateliers de production.

L'impact sur la performance de l'entreprise est tellement déterminant qu'il doit être conduit avec soin comme un projet prioritaire pour l'entreprise. Quatre choses seront déterminantes :

1. la priorité du projet dans les axes stratégiques de l'entreprise ;
2. la façon dont sera géré le projet ;
3. les choix stratégiques qui seront décidés en matière de système d'information ainsi que la structure informatique choisie (ERP, EAI, mix des deux) ;
4. la façon dont sera conduite la mise en place concrète du nouveau système.

2. Les clés de la réussite

2.1 Règles fondamentales

Les acteurs du projet doivent avoir en permanence à l'esprit les quelques points fondamentaux que nous allons présenter dans la suite de cette section : en effet, *l'ordinateur est un outil*. C'est un outil formidable, avec les avantages et propriétés décrites au chapitre 13 (paragraphe 1.2), mais ce n'est pas lui qui résout les problèmes de fond. Il faut donc :

- prendre en compte *l'aspect humain* qui est *capital*, car la mise en œuvre du projet s'effectue par les hommes et les femmes de l'entreprise. La réussite du projet passe donc par leur motivation ;
- *corriger* tout dysfonctionnement *avant d'informatiser*. En effet, aucun outil ne sera aussi flexible qu'un homme pour s'adapter à un dysfonctionnement : informatiser serait encore pire que ne rien faire ;
- avoir des *données fiables*, car l'organisation et la gestion de la production reposent sur les données techniques de l'entreprise : la planification puis l'exécution en dépendent ;
- agir constamment avec *rigueur et réalisme* ;
- avoir en tête que l'outil le plus utile en organisation et gestion industrielle est le *bon sens*.

Ces remarques préliminaires étant faites, nous allons approfondir un peu les points clés de la réussite de mise en place du projet. Ce qui est rappelé ci-après est valable pour tout projet dans l'entreprise, qu'il s'agisse de la mise en place d'un ou plusieurs modules. Il est bien évident que pour l'implantation complète d'un ERP, par exemple, l'envergure du projet impose des contraintes bien plus grandes et généralisées !

Comme nous venons de le redire, le facteur principal est l'aspect humain. Nous examinerons ensuite le déroulement du projet avec ses étapes, ses acteurs et le contrôle du déroulement. Nous nous placerons plutôt dans le cadre d'un projet concernant une petite entreprise, le cas d'une grande entreprise multi-sites et multinationale exigeant cependant les mêmes types de contraintes avec en plus celles résultant de l'appartenance au groupe.

Nous évoquerons le choix d'un progiciel de GPAO : la place presque secondaire de ce thème reflète bien que la réussite du projet repose bien plus sur les hommes que sur le progiciel choisi... En supposant tout de même que le choix s'est porté sur un progiciel correct ! La justification financière du projet est un aspect très important, notamment en raison des coûts mis en jeu qui peuvent être considérables.

2.2 Rôle de la direction

Le rôle de la direction est capital dans la réussite du projet : ce doit être un engagement total, car il y va de la motivation de tous. Les personnes relevant de la direction doivent avoir reçu une formation extérieure adaptée à leur niveau de responsabilité et relative aux concepts utilisés et à l'intérêt de la démarche pour l'entreprise. Ainsi convaincues, elles seront à même de sensibiliser l'ensemble de la hiérarchie du pourquoi du projet, de son importance, du plan de mise en place et de son suivi.

L'ensemble du projet est accompagné de la mise en place de structures. Cela peut notamment être l'occasion de la création d'une direction logistique avec la notion d'intégration de la maîtrise des flux depuis les fournisseurs jusqu'aux clients de l'entreprise. Il est aussi indispensable que la direction nomme, au plus tôt, un chef de projet qui lui sera directement rattaché avec une mission d'animation, de coordination et de formation, que nous allons préciser au paragraphe suivant.

La direction assignera les responsabilités sur des objectifs clairs et sera impliquée tout au long du projet par un suivi régulier ainsi que nous le préciserons.

2.3 Le chef de projet et l'aspect humain

Le projet gestion industrielle est d'une envergure considérable. Il s'accompagne de projets maintenance, qualité, communication... Pour le mener à bien, il est indispensable que soit nommé un chef de projet responsable de la mise en œuvre et du fonctionnement ultérieur du projet.

Le chef de projet est une personne :

- à plein temps ou tout au moins dont on a dégagé suffisamment de temps, sinon il est accaparé par les problèmes à court terme ;
- qui possède une bonne connaissance de l'entreprise, donc de ses divers compartiments ;
- qui a une bonne expérience industrielle et donc de la production ;

- avec une bonne personnalité pour pouvoir convaincre et faire passer les idées de base ;
- responsable et reconnue dans l'entreprise afin que son autorité lui permette d'arbitrer des conflits ;
- qui dispose d'un pouvoir hiérarchique suffisant lui permettant, en cas de besoin, d'imposer certaines décisions importantes pour la réussite du projet.

L'aspect humain

Cinq points clés contribueront à la motivation de tous et permettront la mise en place puis le déroulement réussi du projet :

- Un engagement et une participation active de la direction, car on ne peut attendre une motivation de tous si la direction n'est pas explicitement active dans le projet.
- Un engagement total et la formation des responsables dans toute la hiérarchie.
- Une formation au projet, étendue à tout le personnel, car formation et information seront les clés de la motivation de l'ensemble des acteurs plus ou moins proches du projet. La formation n'est pas identique et aussi développée pour tous (elle est adaptée à la catégorie d'acteurs, c'est-à-dire responsables, personnes directement liées au projet ou qui en sont plus éloignées).
- Une formation permanente après la formation initiale citée ci-dessus. Cette formation permanente consistera en un entretien et un perfectionnement continu des connaissances. Elle sera mise en œuvre par des intervenants extérieurs mais surtout procédera du management direct à tous les niveaux et de la dynamique insufflée par le chef de projet.
- Une communication accrue dans l'entreprise indispensable au bon fonctionnement et au bon management.

2.4 Le suivi du projet

Le déroulement et le suivi du projet sont effectués par deux groupes importants pour l'adhésion de tous au projet et sa réussite générale : l'équipe de projet et le comité de pilotage.

L'équipe de projet est composée très largement : chef de projet, directeur de l'usine et responsables du bureau d'études, du bureau des méthodes, de l'ordonnancement central, des achats, de la qualité, de la comptabilité, des ventes, des ressources humaines s'il s'agit d'une grande entreprise (ou des personnes ayant ces fonctions pour une entreprise de plus petite taille car une personne a alors plusieurs fonctions). Cette équipe pilote l'avancement du projet par des réunions hebdomadaires courtes et efficaces, sans absentéisme, en créant des groupes de travail pour les problèmes particuliers et spécifiques.

Le groupe de pilotage, composé du directeur général, des membres de la direction et du chef de projet, pilote et gère le projet en organisant des réunions mensuelles courtes. Il vérifie son bon déroulement et prend les décisions d'orientation.

L'assistance d'un consultant extérieur est requise afin que l'entreprise et le projet bénéficient d'un regard extérieur et neuf, donc plus objectif. L'expérience de cet assistant qui a vécu diverses mises en place dans des situations variées est un atout, mais il faut bien évidemment choisir une personne qualifiée et expérimentée qui ne vende pas un logiciel particulier et chercherait à l'imposer. Son rôle est d'assister les responsables de projet ; il joue un rôle de régulateur et de référence, et oblige à penser aux problèmes à résoudre. Il faut bien avoir à l'esprit qu'il ne doit pas s'acquitter lui-même du travail, mais simplement conduire l'entreprise à prendre en charge le projet et à se l'approprier.

2.5 Le calendrier du projet

À partir de la prise de décision de la direction, le projet de gestion industrielle va se dérouler schématiquement en quatre phases :

- une phase initiale de diagnostic, bilan, organisation générale et formation initiale ;
- une phase d'analyse du système d'information et de choix d'une structure informatique ;
- une phase de mise en place, depuis le choix du progiciel jusqu'à son démarrage expérimental ;
- une phase d'exploitation où l'on généralise la mise en place du projet à l'ensemble de l'entreprise.

La figure 14.1 rappelle ces quatre phases en donnant un ordre de grandeur du déroulement du projet dans le temps. Il ne faut pas penser pouvoir aller trop vite, car le travail est important. En revanche, il est nécessaire de mener le projet d'une manière dynamique, sans qu'il traîne, afin que la motivation ne s'estompe pas. Un tel projet doit normalement être mis en place entre 18 mois et 2 ans.

Figure 14.1 – Calendrier de mise en œuvre du projet GP

Phases	Actions	Durée
Phase diagnostic et analyse	Diagnostic, analyse du système d'information existant, bilan Objectifs Justification financière Organisation du projet Formation initiale	2 à 4 mois
Phase de choix du système d'information et des supports	Structuration de l'entreprise en processus Choix généraux sur les démarches de GP Choix d'une structure du système d'information Choix d'une structure informatique ERP, EAI...	2 à 4 mois
Phase de choix du progiciel et de mise en place du nouveau système	Choix du/des progiciel(s) Mise à niveau des données techniques Formation du personnel Essais du/des progiciel(s) Élaboration du PIC Démarrage du PDP Pilote réel	6 à 8 mois
Phase d'exploitation	Généralisation Mesure des performances Formation continue	3 à 5 mois

2.6 L'aspect financier

Tout projet doit être financièrement justifié. Il nous faut donc évaluer les coûts et les gains. Certains seront faciles à établir (coûts directs par exemple) mais certains le seront beaucoup moins (gain par un meilleur fonctionnement que nous décrirons ci-après). Il sera néanmoins indispensable de le faire.

Les coûts proviennent de trois facteurs :

- les coûts informatiques qui comprennent l'investissement matériel, le logiciel, les développements spécifiques aussi bien que le fonctionnement, c'est-à-dire les maintenances, les fournitures et les modifications ;
- la mise à jour des données techniques, travail considérable qu'il faut évaluer (articles, nomenclatures, gammes, postes de charge, stocks, clients, prévisions...) ;
- les coûts de personnel pour la mise en place du projet et pour la nouvelle organisation en exploitation, c'est-à-dire les coûts concernant le chef de projet, les membres de l'équipe projet, l'audit externe, la formation, sans oublier les nouveaux postes créés.

Les gains correspondent à :

- l'amélioration du service client ;
- l'augmentation de la productivité (fiabilité et réalisme) ;
- la réduction des coûts d'achats due à la fiabilité des prévisions ;
- les réductions de stocks non arbitraires, mais justifiées par une amélioration de tout le fonctionnement du système de production, entraînant une diminution du risque d'obsolescence ;
- une réduction des coûts de non-qualité car la réactivité est améliorée ;
- une réduction des coûts de transport due à la maîtrise de l'amont et de l'aval comme les livraisons exceptionnelles aux clients, les approvisionnements pour combler des ruptures ;
- la suppression de l'inventaire physique annuel pour le remplacer par des inventaires tournants.

Pour conclure cet aspect financier, il faut savoir que de nombreuses entreprises qui ont mené à bien un tel projet révèlent qu'elles l'ont rendu rentable en 18 à 24 mois. Et, surtout, il faut avoir à l'esprit que l'expérience démontre également qu'il revient quasiment aussi cher de conduire le projet sans succès réel que de le réussir complètement : il faut donc absolument mettre en place tous les éléments pour le réussir !

3. La démarche de projet GP

3.1 Introduction

Nous avons déjà souligné, dans les paragraphes précédents, les conditions de succès du projet de gestion de la production. Il faut de plus procéder avec méthode. Il faut naturellement savoir d'où on part et où on veut arriver avant de choisir les moyens d'y parvenir. Il est donc nécessaire d'effectuer un diagnostic pour avoir un état de l'existant, d'en faire un bilan et de fixer des objectifs. Il faudra ensuite réaliser des choix techniques pour atteindre ces objectifs. Et on doit, par ailleurs, se donner les moyens de mettre tout cela en place, notamment avec des personnes compétentes et motivées (formation et management interactif). La mise en place d'un projet GP suit en général les quatre étapes décrites dans la figure 14.1 :

1. phase de diagnostic et d'analyse du système d'information existant,
2. phase de choix et structuration du système d'information,
3. phase de choix du progiciel et de mise en place du nouveau système,
4. phase d'exploitation.

Nous allons décrire les grands objectifs de chacune de ces phases.

3.2 Phase diagnostic et analyse

C'est une étape extrêmement importante de la démarche que de poser le problème dans son ensemble. Le point de départ en est une analyse critique des démarches existantes pour aboutir à des objectifs en termes de performance du système de production et en termes financier. Cette analyse passe généralement par la modélisation du système physique et informationnel pour mettre en évidence les dysfonctionnements.

Cette analyse repose sur la description structurée des différents centres de décision et des procédures de circulation de l'information. On peut utiliser des méthodes de modélisation du système d'information, par exemple :

- MERISE, méthode créée sur la demande du ministère de l'Industrie en 1976 et destinée à analyser et concevoir les systèmes d'informations.
- SADT (*Structured Analysis and Design Technic*), créée en 1976 aux États-Unis qui permet la description fonctionnelle des systèmes complexes.

Mais ces méthodes ne prennent pas en compte tous les aspects du système de production (cohérence nécessaire entre les systèmes physique, décisionnel et informationnel).

- La méthode GRAI (Graphes à résultats et activités inter-reliés), mise au point par le laboratoire GRAI de l'université de Bordeaux-I, étudie plus précisément le système de décision dans un cadre industriel.
- La méthode OLYMPIOS créée au Laboratoire de logiciels pour la productique (LLP/CESALP) de l'université de Savoie s'attache à modéliser le système d'information support du système physique pour mettre en évidence et hiérarchiser les dysfonctionnements.

La mise en évidence des principaux dysfonctionnements doit conduire à :

- la création d'un projet piloté par un chef de projet,
- la définition claire d'objectifs en termes de performance industrielle,

- l'organisation pratique des principales étapes du projet,
- la mise en place des formations nécessaires.

3.3 Phase de choix et structuration du système d'information

La synthèse de l'étude sur l'existant a fait apparaître les dysfonctionnements systématiques qui engendrent des perturbations sur le système de production, à la fois dans le système physique et surtout dans l'organisation du système d'information qui le supporte. On a ainsi mis en évidence des situations critiques qui sont souvent à l'origine de conflits entre services. Ce sera l'occasion de les analyser objectivement et en commun, à partir de faits vérifiés, pour mettre en œuvre des mesures correctives d'amélioration des flux physique et informationnel. C'est l'occasion de conforter et faciliter l'action engagée par l'effet psychologique sur les acteurs.

Le système d'information est évidemment supporté par des progiciels informatiques. Comme nous l'avons vu au chapitre 13, plusieurs architectures informatiques sont possibles depuis la coexistence pas toujours pacifique entre plusieurs progiciels, l'ERP exhaustif (est-ce possible ?) et les solutions EAI. Lorsque viendra le choix du progiciel, il conviendra d'être très clair sur l'orientation que l'on veut prendre.

Cette phase est une étape charnière entre le diagnostic qui a permis de mettre en évidence les dysfonctionnements et la phase de mise en place – plus pratique – qui consistera à choisir et à mettre en œuvre le progiciel. Elle a pour objet de poser la question suivante : quelle structure du système d'information me permettra de répondre aux principaux dysfonctionnements mis en évidence ?

Le système d'information doit refléter le système réel. La première étape de cette phase va consister à modéliser le système de production de l'entreprise. Une des façons des plus pratiques pour réaliser cette modélisation est de structurer l'entreprise sous forme de processus. Ce travail est largement facilité pour toutes les entreprises qui ont un système qualité ISO 9000 version 2000. Le travail réalisé peut être en grande partie utilisé dans cette phase d'analyse.

On a vu également au chapitre 13 qu'à partir de cette structuration sous forme de processus, il est très facile de concevoir un système d'EAI collant au plus près au système physique de l'entreprise.

Enfin, cette phase doit permettre également de concevoir le système d'indicateurs de performance qui sera à même de fournir un tableau de bord pour chaque niveau hiérarchique formant un ensemble cohérent. Là encore, comme nous l'avons énoncé au chapitre 11 à propos des indicateurs de performance, on peut largement s'appuyer sur la démarche qualité qui doit être réalisée dans le cadre d'une certification ISO 9000 version 2000.

On le constate, il existe des liens très forts entre la création d'un système qualité dans l'entreprise et la nécessaire phase d'analyse du système d'information que le gestionnaire de production se doit de réaliser lors de la mise en place d'un nouveau système ou de l'adaptation d'un système existant. Plus le gestionnaire de production aura été actif dans le cadre de la certification ISO pour disposer d'un outil commun entre la qualité, la gestion de production et les services informatiques, et plus son travail sera facilité dans cette phase.

3.4 Phase de choix du progiciel et mise en place du nouveau système de gestion industrielle

Les dysfonctionnements ayant été identifiés, et la structure du système d'information qui est souhaité étant claire, on peut passer au choix des progiciels et à la partie plus concrète du projet.

3.4.1 Choix d'un progiciel

Comme on l'a déjà vu, le progiciel n'est pas le facteur principal de la réussite d'un projet de gestion de production, mais il faut naturellement choisir un bon progiciel. Il en existe bon nombre, alors essayons de choisir un progiciel bien adapté à l'entreprise.

3.4.1.1 Critères de choix du progiciel

Au moment du choix, la question suivante se pose très vite : est-il préférable de développer ou faire développer un logiciel spécifique qui sera « bien » adapté à l'entreprise, ou bien d'utiliser un logiciel standard *a priori* moins proche de l'entreprise concernée ? Un logiciel spécifique sera plus long à mettre en œuvre, car il faut le développer avant de l'implanter. Il sera délicat à mettre au point, il pourra même subsister des bogues et, surtout, puisqu'il sera spécifique, il sera rigide. On peut de plus se demander si sa trop grande adaptation à l'organisation existante est judicieuse. Son coût est également plus élevé qu'un logiciel développé pour un grand nombre d'entreprises. Inversement, certains pensent qu'un logiciel standard peut être incomplet, compliqué... Mais il faut savoir qu'un bon logiciel standard est prévu avec des paramètres d'installation qui, justement, le rendent adaptable, tout en restant fidèle au schéma classique d'organisation de la gestion industrielle d'une entreprise. Les entreprises interrogées pensent d'ailleurs la plupart du temps appartenir à un cas exceptionnel où leurs besoins sont à 80 % spécifiques et 20 % généraux. Dans la réalité, la proportion est inversée ! De plus, des adaptations jugées nécessaires seront toujours possibles et des interfaces permettront facilement la mise en commun de la base de données techniques avec les autres logiciels de l'entreprise. Par ailleurs, l'acquisition d'un logiciel standard permettra à l'entreprise de remettre en cause son organisation pour mieux coller à la structure du logiciel, ce qui ne peut être que positif en matière de remise en cause et d'évolution de l'entreprise. On a trop souvent tendance à vouloir informatiser les dysfonctionnements de l'organisation. On conclura, à ce sujet, qu'il est maintenant totalement admis qu'il est préférable de choisir un bon standard.

Autre point important : le choix du progiciel doit-il dépendre de l'ordinateur existant déjà dans l'entreprise ? En supposant que l'ordinateur soit en place pour encore plusieurs années, tout d'abord, n'est-il pas déjà très utilisé et pourra-t-il supporter dans de bonnes conditions le progiciel supplémentaire ? En outre, nombre de progiciels présentent toutes les fonctionnalités attendues sur des versions micro-ordinateurs peu onéreux (le plus souvent plusieurs micro-ordinateurs en réseau). En conséquence, si l'existence d'un ordinateur dans l'entreprise peut être un élément du choix du progiciel de GPAO, il ne doit pas être l'élé-

ment déterminant qui pourrait conduire à des désillusions. Certains progiciels sont d'ailleurs compatibles avec une gamme étendue de matériels et évitent cette restriction.

Outre le facteur d'une contrainte financière qui éliminera certaines solutions à cause de leur coût jugé excessif pour l'entreprise, il y a quelques critères fondamentaux à prendre en compte : fonctionnalités offertes, convivialité, supports techniques associés (disponibilité, mises à jour, coûts, langues...), formation à l'utilisation du progiciel, maintenance, fonctionnement en interactif ou en différé, pérennité du fournisseur.

3.4.1.2 Méthode de choix du progiciel de GPAO

Voici la méthode de choix que nous pouvons proposer :

- Il faut bien connaître les méthodes de gestion de la production, notamment le management des ressources de production et la gestion de projets car ce n'est pas aux progiciels et à leurs vendeurs de définir les idées directrices du projet de l'entreprise.
- Il est utile de commencer par une recherche documentaire dans des revues, ouvrages spécialisés, notamment les travaux du CXP (voir bibliographie), association qui étudie les progiciels existant sur le marché.
- Les références d'entreprises utilisatrices sont irremplaçables. On pourra recueillir l'avis de diverses personnes avec des points de vue différents selon leur fonction.
- On établira un cahier des charges précis pour faire l'appel d'offres.
- Un jeu d'essai caractéristique de l'entreprise permettra de juger des possibilités proposées par les divers progiciels, des modifications et des interfaçages nécessaires.
- On fera une première sélection pour arriver à quatre ou cinq candidats avant d'approfondir l'étude du choix définitif définissant le progiciel le plus adapté.

3.4.1.3 Modifications du progiciel

Il se pose toujours la question de savoir s'il faut rester standard ou modifier le progiciel pour une adaptation spécifique à l'entreprise. Il faut bien avoir à l'esprit que toute modification entraîne une rigidité qui gênera ensuite les possibilités d'évolution ; en effet, elle interdira le passage aux nouvelles versions proposées. Pour limiter ces désagréments, il ne faut alors faire que des modifications jugées indispensables. Par souci d'efficacité, le mieux sera de les soumettre à l'équipe projet et éventuellement de les faire arbitrer par le groupe de pilotage. La philosophie à adopter est simple : il est interdit de toucher au cœur du progiciel, seule la périphérie peut se prêter à toute modification.

3.4.2 Mise à niveau des données techniques

La difficulté ne se situe pas au niveau de l'installation informatique du nouveau logiciel. Elle réside, tout d'abord, dans la préparation des données qui est souvent sous-estimée et surtout dans le démarrage de l'application pour passer de l'ancienne gestion à la nouvelle. En effet, le nouveau système va naturellement aboutir à proposer des ordres de fabrication et d'approvisionnement. Mais l'entreprise a déjà en cours des fabrications et assemblages à divers stades, ainsi que des commandes en cours auprès des fournisseurs. Il faut donc que les gestionnaires confirment certains ordres en respectant leur état d'avancement et placent des ordres fermes (rappelons que le chapitre 7 nous a appris que de tels ordres sont gérés en propre par le gestionnaire qui impose quantités et dates). Mais il peut se poser bon nombre de problèmes, par exemple la présence d'ordres lancés avec une gamme modifiée depuis lors, ou des nomenclatures qui ont évolué. On voit que les gestionnaires devront prendre des décisions exigeant à la fois la connaissance de l'ancien et du nouveau système, ainsi que l'état réel de l'atelier.

3.4.3 Mise en place

La mise en place du progiciel ne peut rien laisser au hasard. La pérennité de l'entreprise peut en dépendre. Il faut être sûr que tout soit parfaitement cadré avant de passer en réel avec le nouveau système.

En général, on procède à un essai sur un pilote en parallèle avec le système existant avant le basculement. Le pilote peut être un atelier particulier ou un type de produit particulier. Dans un premier temps, on fait tourner les deux systèmes en parallèle tout en continuant à gérer avec l'ancien système. Cette étape, qui peut aller de quelques jours à plusieurs semaines, a pour but de s'assurer qu'une déficience majeure n'interviendra pas suite à un oubli ou à un bogue de logiciel.

Le basculement sous le nouveau logiciel est en général une période critique ; on choisit, si possible, une période de faible charge pour procéder au basculement. Inévitablement, des erreurs de saisie, des oublis, vont générer des manquements importants en production. Il conviendra d'être particulièrement réactif durant cette période.

Enfin, la phase de mise en place doit être accompagnée d'un effort particulier de formation qui ne sera pas seulement centrée sur l'aspect progiciel, mais également sur les concepts sous-jacents qui ont été largement exposés dans cet ouvrage.

3.5 Phase d'exploitation

Cette phase a lieu après le basculement. C'est également une phase souvent critique car, malgré toutes les précautions que l'on a prises, il réside toujours des problèmes :

- des informations disponibles avec l'ancien système ne le sont plus ;
- les erreurs de saisies ou données manquantes sont génératrices de problèmes ;
- de nouvelles habitudes de travail doivent être prises...

L'accompagnement dont doit bénéficier cette phase est donc important et le succès du projet sera lié à la réactivité de l'équipe de projet durant tous ces premiers mois d'exploitation.

Pour illustrer la difficulté de cette étape, on peut citer les multiples exemples d'entreprises dans lesquelles plusieurs collaborateurs avaient développé de petites applications à partir de tableur pour combler un besoin non satisfait dans le système existant. La mise en place d'un

ERP vise notamment à supprimer l'utilisation de ces applications « sauvages » pour pouvoir travailler à partir d'une base de données unique.

Immanquablement et quelle que soit la qualité du progiciel choisi, le collaborateur ne retrouvera pas dans l'ERP la même information qu'il traitait sur son tableur. Il s'ensuit souvent un certain nombre de problèmes que devra gérer avec efficacité l'équipe de projet. La tâche sera d'autant plus importante que le progiciel choisi dispose de fonctionnalités étendues.

Ainsi la tâche du groupe de projet ne doit pas s'arrêter au basculement. L'étape d'exploitation doit faire partie du projet avec comme principales actions :

- la finalisation du paramétrage du progiciel,
- la prise en compte des problèmes,
- la mise à niveau des données techniques,
- la gestion des modifications apportées au progiciel,
- la mise en place et la finalisation du tableau de bord d'indicateurs de performance,
- la mesure des écarts entre les objectifs et le niveau des performances du nouveau système.

4. Conclusion

La mise en œuvre d'une gestion industrielle dans l'entreprise n'est pas une affaire banale, même s'il ne s'agit pas d'un ERP. C'est un projet lourd qui exige un engagement total de la direction et l'animation efficace d'un chef de projet. La réussite repose sur la motivation de l'ensemble du personnel qui doit en comprendre tout l'intérêt et son rôle au sein du projet. On y parviendra par la formation et l'information, en ayant bien à l'esprit qu'il faut faire de la gestion de la production avec une aide informatique, et non se contenter simplement d'installer un progiciel. On partira d'une situation saine, après élimination des dysfonctionnements de la gestion précédemment en place et amélioration de l'implantation dans les ateliers. On installera au plus

tôt le pilote qui doit apporter l'amélioration maximale, car son impact positif créera une dynamique favorable. Afin d'évaluer la réussite du projet, on mettra en place un réseau d'indicateurs de performance. Cette structure de contrôle des résultats et performances est destinée à informer tous les acteurs du projet, des responsables aux opérateurs. Rappelons enfin que le projet de gestion de la production est accompagné de plans associés de qualité, maintenance, communication... La démarche est en effet nécessairement une approche globale définie au niveau stratégique par la direction générale dans une optique d'excellence pour la pérennité de l'entreprise.

Bibliographie

AFNOR

Guide pour la mise en place de la « Maîtrise statistique des processus », NF X 06-030, 1992.

AFNOR

Gérer et assurer la qualité – Recueil de normes, 2 tomes, AFNOR 1994, NF X 06-030, 1992.

AFGI – BITEAU R., GARREAU A., GAVAUD M.,

Dictionnaire des termes de gestion industrielle, 1991.

APICS Dictionary,

8th Edition, 1995.

ARNOULT P., RENAUD J.,

Flux de production : les outils d'amélioration, AFNOR, 2003.

ARNOULT P., RENAUD J.,

Capacité, stocks et prévisions, AFNOR, 2003.

ARNOULT P., RENAUD J.,

Les Niveaux de planification, AFNOR, 2003.

BAGLIN G., BRUEL O., GARREAU A., GREIF M., VAN DEFT C.,

Management industriel et logistique, Economica, 2001.

- BELT B., BRUN F.,
Gérer l'interface commercial/production – Le PIC et le PDP, Cabinet Bill Belt S.A.
- BELT B.,
MRP sans OF, Cabinet Bill Belt S.A., 1990.
- BENEDETTI Claudio,
Introduction à la gestion des opérations, Études vivantes, 3^e édition, 1991.
- BENICHOU J., MALHIET D.,
Études de cas et exercices corrigés en gestion de production, Les Éditions d'Organisation, 1991.
- BONNEFOUS C., COURTOIS A.,
Indicateurs de performance, Traité IC2, Hermès Science, 2001.
- BOUCHE G., CHARPENTIER P., LALLEMAND Ch., MARTIN C., TONNEAU D.,
Réussir une organisation en juste-à-temps, Éditions de l'ANACT, 1991.
- BOUNINE J., SUZAKI K.,
Produire juste-à-temps, Masson – 2^e édition, 1994.
- BOURBONNAIS R., USUNIER J.-C.,
Pratique de la prévision des ventes, Economica, 1992.
- BRANDENBURG H., WOJTYNA J. P.,
L'Approche processus : mode d'emploi, Les Éditions d'Organisation, 2003.
- CAP SESA,
« Le Centre du management industriel », rapport Mission Japon, 1992.
- CERUTTI O.,
Indicateurs et tableaux de bord, AFNOR, 1992.
- COOPER R., KAPLAN R.,
« Profit priorities from A.B.C. », *Harvard Business Review*, mai-juin 1991.

- COURTOIS A.,
Informatique et production « au plus juste », Institute for International Research, Paris, 7-8 juin 1993.
- COURTOIS A.,
Manuel de Gestion, Livre 7 : Gestion de Production, Ellipses, 1999.
- DORNIER P.-P., FENDER M.,
La Logistique globale : Enjeux – Principes – Exemples, Les Éditions d'Organisation, 2001.
- DURET D., PILLET M.,
Qualité en production – De l'Iso 9000 à Six sigma, Les Éditions d'Organisation, 2001.
- ECOSIP,
Gestion industrielle et mesure économique, approches et applications nouvelles, Economica, 1990.
- ERSCHLER J.,
Organisation et gestion de production, Hermès Science, 2001.
- EVRAERT S., MEVELLEC P.,
« Les coûts à base d'activité », *Revue française de gestion*, janvier, février 1991.
- FIORE C.,
« Supply Chain en action », *Les Échos*, 2001.
- FOURNIER P., MÉNARD J.-P.,
Gestion des approvisionnements et des stocks, Gaëtan Morin éditeur, 1999.
- GALLOIS P. M., MARCIACQ J.-C.,
Cours de gestion de production, AFNOR.
- GALLOIS P. M.,
« Évaluer pour évoluer », Bilan des travaux de la commission AFGI indicateurs de performance, 1994.
- GÉLINIER O.,
Stratégie de l'entreprise et motivation des hommes, Hommes et techniques, Eyrolles, 1994.

- GEORGES M. L.,
Lean Six Sigma, McGraw-Hill, 2002.
- GIARD V.,
Gestion de la production et des flux, Economica, 2003.
- GODDARD W.,
Décuplez la productivité de votre entreprise par le juste-à-temps,
Édition du Moniteur, 1990.
- GOLDRATT E. M., COX J.,
Le But : l'excellence en production, AFNOR Gestion, 1995.
- GRATACAP A.,
La Gestion de production, Dunod, 2002.
- GREIF M.,
L'usine s'affiche, Les Éditions d'Organisation, 1996.
- HALL R. W.,
Zero inventories, The Dow Jones-Irwin, 1983.
- HALL R. W.,
Attaining Manufacturing Excellence, The Dow Jones-Irwin, 1987.
- HAMMER M.,
Carnet de route pour manager, Unilog Management, Maxima Éditeur, 2002.
- HAYES R. H., WHEELWRIGHT S. C., CLARK K. C.,
Dynamic manufacturing, Free Press, 1988.
- Harvard Business Review*, préface PÉREBEAU M.,
« La chaîne de valeur », Les Éditions d'Organisation, 2000.
- HILL T.,
Manufacturing Strategy, Text and Cases, Irwin, 1989.
- IMAÏ M.,
Kaizen : la clef de la compétitivité japonaise, Eyrolles, 1992.
- JAVEL G.,
L'Organisation et la Gestion de production, Masson, 1997.

- JAVEL G.,
Organisation et Gestion de production, Exercices corrigés, Masson, 1997.
- LAMBERSEN F.,
Organisation et génie de production, Ellipse Technosup, 1999.
- LAURENTIE J.,
Logistique : démarche et techniques, Afnor, 1994.
- LAURENTIE J., BERTHÉLÉMY F., GRÉGOIRE L., TERRIER C.,
Processus et méthodes logistiques – Supply Chain Management, Afnor 2000.
- LEBAS M.,
« Comptabilité analytique basée sur les activités, analyse et gestion des activités », *Revue française de gestion industrielle*, n° 4, 1992.
- LE DENN Y.,
La Chaîne logistique au service du client, CELSE, 2001.
- LIKER J. K.,
Becoming Lean – Productivity Press, Portland, 1998.
- LORINO P.,
Le Contrôle de gestion stratégique, Dunod Entreprise, 1991.
- LORINO P.,
Méthodes et pratiques de la performance, Les Éditions d'Organisation, 2001.
- LUNN T., NEFF S. A.,
MRP, Irwin, 1992.
- MARRIS P.,
Management par les contraintes en gestion industrielle
- MELNYK S. A., CARTER P. L.,
Production Activity Control, The Dow Jones-Irwin, 1987.
- MONTGOMERY D. C.,
Introduction to Statistical Quality Control, 4th edition, Wiley, 2001.
- ORLICKY J.,
Material Requirement Planning, Mc G. Hill, 1975.

- PILLET M.,
Introduction aux plans d'expériences par la méthode Taguchi, Les Éditions d'Organisation, 1997.
- PILLET M.,
Appliquer la maîtrise statistique des procédés (MSP/SPC), 3^e édition, Les Éditions d'Organisation, 2001.
- PILLET M.,
Appliquer Six Sigma, Les Éditions d'Organisation, 2003.
- POIRIER C. C., REITER S. E.,
La Supply chain, Dunod, 2001.
- Revue de gestion 2000*,
dossier « La logistique aujourd'hui : perspectives stratégiques »,
janvier-février 2002.
- ROUX M.,
Entrepôts et magasins, 2^e édition, Les Éditions d'Organisation, 2001.
- ROUX M., LIU T.,
Logistique d'entrepôt, Les Éditions d'Organisation, 2003.
- SAMII A. K.,
Mutations des stratégies logistiques en Europe, Nathan, 1997.
- SAMII A. K.,
Stratégies logistiques, fondements, méthodes et applications,
Dunod, 2001.
- SHINGO S.,
Maîtrise de la production et méthode Kanban : le cas Toyota, Les Éditions d'Organisation.
- STOCKER GREGG D.,
Quality function deployment : Listening to the voice of the Customer, APICS Conference Proceeding, 1991.
- TAGUCHI G.,
System of experimental Design, Vol I & II, Kraus, 1987.
- TAKASHI OSADA,
Les 5S, première pratique de la Qualité totale, Dunod, 1993.

TREY P.,

Les 5S, socle de l'efficacité industrielle – Mode d'emploi, AFNOR, 2003.

VALLIN P.,

La Logistique : modèles et méthodes du pilotage des flux, Economica, 2001.

VOLLMANN T. E., BERRY W. L., WHYBARK D. C.,

Manufacturing Planning and Control Systems, Irwin, 1992.

WOMACK J. P., JONES D. T., ROOS D.,

Le Système qui va changer le monde, Dunod, 1992.

5

5 S, 344

A

ABC-ABM (*Activity Based Costing-Activity Based Management*), 360, 393
acquisition de données, 415
actions d'améliorations, 370
activité, 383
aide à la décision, 374
amélioration
 continue, 287, 323
 par percée, 323
analyse, 430
 de déroulement, 40
 des performances, 414
antériorités, 48
APICS, 407
approvisionnement, 141
APS, 402, 416
 (*Advanced Planning Systems*), 392
articles, 167, 170
 codification des, 174
 fantômes, 170
 fictifs, 170
assemblage à la commande, 25
assurance qualité, 350

atelier(s)
 à flux, 19
 fonctionnels, 21
auto-contrôle, 305

B

Balance Scorecard, 394
base de données, 248, 406, 409
besoins
 bruts, 212
 dépendants, 208
 indépendants, 208
bon
 de sortie de magasin, 169
 de travail, 169
boucles fonctionnelles, 258
but (le), 291

C

cahier des charges, 166
calcul
 des besoins, 212
 des besoins nets (CBN), 209
 des charges globales, 238
 global de charge, 229
capabilités, 343

- capacité(s), 194
 - démontrée*, 194
 - théorique*, 194
 - capitalisation du savoir-faire, 342
 - cartes de contrôle, 343
 - cartographie du processus, 329
 - cas d'emploi, 185
 - cause(s)
 - communes*, 343
 - spéciale*, 343
 - cellule(s)
 - de fabrication*, 28
 - en U*, 29
 - CETIM PMG, 61
 - chaîne logistique, 3, 406, 413
 - globale*, 381
 - intégrée*, 379
 - chaînon, 52
 - changement
 - d'outil*, 331
 - de série*, 331
 - charges détaillées, 239
 - chef de projet, 424
 - chemin critique, 113
 - chevauchement, 97, 101
 - CIP (*Continuous Improvement Process*), 5
 - classement ABC, 124
 - classification des entreprises, 18
 - CMR (*Customer Relationship Management*), 392
 - code, 171
 - article*, 180
 - codification
 - des articles*, 174
 - mixte*, 178
 - non significative*, 178
 - significative*, 177
 - coefficient(s), 181
 - d'efficacité*, 194
 - de perte*, 171
 - de rebut*, 192
 - cohérence
 - entre PIC et PDP*, 253
 - horizontale*, 369
 - verticale*, 369
 - commandes
 - fermes*, 234
 - ouvertes*, 351
 - commerce électronique, 413
 - communication, 163, 353
 - compétitivité, 1
 - composants, 181
 - composé, 181
 - conception, 165
 - conformité, 323
 - contrainte, 292
 - contrôle, 92
 - CONWIP, 278
 - coût
 - annuel d'approvisionnement*, 134
 - d'une commande*, 134
 - de lancement*, 134
 - de revient*, 194
 - de revient cible*, 8
 - de stockage*, 133
 - Critical Path Method*, 117
 - CRM, 402
 - CTQ
 - (*Critical To Quality*), 365
 - diagramme*, 366
 - CXP, 407, 434
 - cycles
 - de développement*, 319
 - de production*, 316
- ## D
- dates
 - au plus*, 112
 - au plus tard*, 112
 - décalage
 - par le bas*, 103
 - par le haut*, 102
 - délai, 211
 - d'approvisionnement*, 144
 - d'obtention*, 233

de développement, 319
de fabrication, 303
 Delphes, 72
 demande, 70
 à *tendance*, 70
 constante, 70
 erratique, 71
 saisonniers, 70
 détection des goulets, 306
 diagnostic, 430
 disponible
 à *vendre*, 232, 235
 prévisionnel, 235
 données
 d'activité, 169, 200
 d'un OF, 201
 de base, 169
 du suivi, 201
 historiques, 170, 201
 relatives à l'environnement, 200
 techniques, 163, 418, 435
 dossier de fabrication, 169

E

EAI, 402, 410, 431
 écart moyen absolu, 85
 échéancier, 210, 233
 EDI (Échanges de données informatisées), 387
 éléments résiduels, 74
 engagement, 354
 équilibre
 des capacités, 294
 du flux, 294
 équipe, 354
 ERP, 402, 407, 431
 (*Enterprise Resources Planning*), 392
 erreur(s), 85
 moyenne, 85
 étiquettes Kanban, 272
 évaluation financière, 359
 événement(s) de liaison, 115
 exactitude, 170

exécution, 92, 206
 expédition, 34

F

familles, 224
 fermeture de l'ordre, 246
 fiabilité, 314, 339
 fiche suiveuse, 169
 flottement(s), 96, 113
flow shop, 19
 flux, 5, 294
 d'information, 6, 329
 financier, 9
 informationnel, 163
 physique, 329
 physiques, 6
 tendu, 316
 tiré, 267
 fonction
 Études, 165
 Gestion de production, 169
 Méthodes, 167
 formation, 353
 fréquence des livraisons, 350

G

gamme, 167, 168, 196, 197
 de remplacement, 198
 fictive, 52
 secondaire, 198
 Gantt, 93
 gaspillages, 312, 314
 gestion
 centralisée des achats, 390
 d'atelier par les contraintes, 291
 de la demande, 206
 de la maintenance, 414
 de la qualité, 414
 de projet, 325
 de projets, 91
 des approvisionnements, 391
 des documents, 414

- des ordres de fabrication*, 414
- des process*, 414
- des ressources de production*, 414
- des stocks*, 132, 205, 391
- du travail*, 414
- mono-emplacement*, 131
- mono-magasin*, 131
- multi-emplacements*, 131
- multi-magasins*, 131

- Goldratt, 291
- goulet d'étranglement, 292
- GPAO, 402, 404, 421, 423, 434
- GRAI, 430
- graphique de circulation, 37

H

- homme, 312
- horizon, 210, 224, 232
- humain, 352

I

- îlots de production, 28
- Implantation
 - pratique*, 58
 - théorique*, 56
- implantation, 17
- implication, 354
- incertitude, 85
- index, 269
- indicateurs
 - de performance*, 202, 358, 361, 394
 - de processus*, 362
 - de résultat*, 362
- industrialisation, 167, 196
- informations de gestion, 393
- ingénierie simultanée, 91, 321
- intégration, 406, 409, 413
- interchangeabilité, 181
- interfaçage, 409
- inventaire(s), 132
- ISO 9000, 384, 431

J

- jalonnement
 - au plus tard*, 97, 99
 - au plus tôt*, 95, 99
- job-shop*, 21
- juste-à-temps, 305, 306, 311, 312, 376

K

- Kaizen, 5, 287, 323, 327, 348, 355, 362
- Kanban, 263
 - étiquettes*, 272
 - générique*, 263, 278, 280
 - MRP*, 287
 - nombre de*, 275
 - planning*, 268
 - spécifique*, 263, 265
 - spécifique à emplacements*, 272
- King, 45
- Kuziack, 42

L

- lancement, 243
- lancer, 242, 243
- Lean Management*, 311
- Lean Production*, 305
- lien de nomenclature, 181
- lignes de fabrication, 27
- lissage(s)
 - exponentiel*, 82
 - exponentiel simple*, 82
 - exponentiels multiples*, 84
- liste de priorités, 243
- logiciels
 - d'ordonnancement*, 405
 - de suivi*, 405
- logistique, 378
- lot
 - de fabrication*, 300
 - de transfert*, 300

M

macro-gammes, 197
 macro-nomenclatures, 188
 MAD
 (*Mean Absolute Deviation*), 85
 lissée, 86
 maintenabilité, 339
 maintenance
 curative, 339
 préventive, 340
 préventive prédictive, 340
 préventive systématique, 340
 productive totale, 376
 maîtrise des processus, 342, 343
 management des ressources de la production (MRP2), 205
 marge, 8, 96
 mécanisme du calcul des besoins, 212
 MERISE, 430
 MES, 402, 413
 (*Manufacturing Execution Systems*), 392
 message(s), 210, 212, 222, 235
 méthode(s)
 CPM, 117
 de décomposition, 74
 de Delphes, 72
 de King, 45
 de Kuziack, 42
 de mise en ligne, 48
 de prévision, 71
 des antériorités, 48
 des chaînons, 52
 des moyennes mobiles, 79
 des rangs moyens, 48
 du chemin critique, 117
 Kanban, 263
 quantitatives, 73
 micro-usines, 32
 mise en ligne, 48
 mise en œuvre, 421
 mise en place, 435
 modularité, 408
 motivation, 354

moyenne(s)
 mobile pondérée, 81
 mobiles, 79
 MRP, 206
 MRP2, 206
 MRP-Kanban, 287
 MSP (Maîtrise statistique des procédés), 343
 Muda, 315

N

nervosité, 234
 nœud, 53
 nombre de niveaux, 184
 nomenclature(s), 167, 181
 arborescente, 181, 190
 cumulée, 190
 de fabrication, 188
 de gestion de production, 188
 fonctionnelle, 188
 indentée, 191
 modulaires, 188
 multiniveaux, 184
 valorisée, 191
 non-conformité, 326
 NTED, 336

O

offre logicielle (I'), 401
 Ohno, 264
 OLYMPIOS, 430
 opération(s), 198
 externes (OED), 333
 internes (IED), 333
 OPITZ, 61
 OPT (*Optimized Production Technology*), 291
 ordinateur, 402
 ordonnancement, 414
 ordres
 du PDP, 235
 fermes, 221

lancés, 212, 221
proposés, 210, 212, 221
Orlicky, 208
OTED, 336
outillage(s), 167, 196

P

partenariat, 351
participation, 353
PDM, 418
PDP, 402
performance, 248, 357
 industrielle, 313, 359
période(s), 210, 224, 232
PERT, 104
 graphe PERT, 105
 méthode PERT, 104
 multi-PERT, 114
 PERT-cost, 116
 PERT-coût, 116
PGI, 402, 407
PIC, 402
pilotage
 de l'atelier par les contraintes, 308
 de la production, 358
 des activités de production (PAP),
 242
 opérationnel, 365
 stratégique, 364
 tactique, 364
plan
 « *VOIR* », 41
 d'ensemble, 166
 de détail, 167
 industriel, 230
 industriel et commercial (PIC), 224
planification, 92, 206, 207, 390
plus bas niveau, 183, 219
point de commande, 144
poste(s)
 de charge, 193, 198
prévision(s), 71, 225
 à court terme, 66
 à long terme, 66

agrégée, 69
de la demande, 65
de ventes, 234
principe
 de l'iceberg, 326
 de la bougie magique, 326
priorités, 282
proactive, 4
processus, 379, 382, 384
production
 à la commande, 25
 au plus juste, 260, 313
 en continu, 19
 en discontinu, 19, 20
 par grandes séries, 18
 par moyennes séries, 18
 par petites séries, 18
 par projet, 19, 21
 unitaire, 18
profil de charge, 240
progiciel, 432
programmation, 390
 détaillée, 243
programme directeur de production
(PDP), 232
projet GP, 429
prospective, 321

Q

qualité, 341
 des données techniques, 202
 du système de planification, 247
 gestion de la, 323
 totale, 376
quantité économique, 123

R

rangs moyens, 51
rapport d'exception, 246
ratio
 critique, 96
 d'efficacité, 22, 331

réactive, 4
 réapprovisionnement, 141
 fixe, 142
 réception, 132
 recherche et développement, 165
 reconstituer complètement, 142
 référence, 171
 règle de priorité, 243
 régulation, 258
 relation(s)
 avec les fournisseurs, 349
 client, 413
 répétitivité, 18
 réseau(x) à niveaux multiples, 115
 résolution de problème, 325

S

SADT, 430
 SCE (*Supply Chain Execution*), 392
 schéma
 opérateur, 38
 SCM, 402
 sections homogènes, 26, 30
 sections multiples, 114
 SGDT, 402, 418
 signal d'alerte, 87
 simulation de flux, 405
 SIPOC, 330
 Six sigma, 311, 323, 324
 SMED, 298, 331
 sortie, 132
 sous-charge, 229, 241
 standardisation, 342
 stock(s)
 de couverture, 146
 de départ, 211, 233
 de sécurité, 67, 142, 146, 148, 223, 233, 271
 diminution, 121
 fictif, 147
 gestion des, 132
 gestion des () traditionnelle, 153
 niveau du, 122

prévisionnel, 212
 réception, 132
 rôle des stocks, 119
 sortie, 132
 types de stocks, 120
 stockage, 34
 coût de, 133
 dynamique, 161
 fixe, 158
 par étagères mobiles, 159
 rotatif, 160
 structure(s)
 à point de regroupement, 187
 convergente, 186
 divergente, 186
 parallèles, 187
 suivi, 245
 des flux, 248
supply chain, 3, 4, 375, 378
 surcharge, 229, 241
 système(s)
 d'indicateurs, 363
 d'information, 163, 264, 392, 418, 431
 d'information et de décision, 404
 de production, 357

T

tableau d'intensité du trafic, 56
 tableau des antériorités, 109
 taille
 de lot, 211, 233
 des lots, 302
target costing, 8, 393
 taux de possession, 134
 Taylor, 358, 376
 technique(s)
 qualitatives, 71
 quantitatives, 71
 technologie de groupe, 22, 59
 temps, 198
 tendance, 74
 tension des flux, 316
 Toyota, 264

TPM (*Total Productive Maintenance*),
336
traçabilité des produits, 414
TRS (Taux de rendement synthétique),
336

U

unicité de l'information, 407, 413
unité, 224

V

valeur ajoutée, 6

variations saisonnières, 74
vente sur stock, 25

W

Wilson (formule de), 136

Z

ZAD (Zones en attente de décision), 346
zone

ferme, 233

gelée, 238

libre, 238

négociable, 238