

# MANAGEMENT DE LA PRODUCTION

CONCEPTS MÉTHODES CAS

*Anne Gratacap • Pierre Médan*

DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES

	AVANT-PROPOS	1
	INTRODUCTION	3
<b>1</b>	<b>L'ORGANISATION DE LA PRODUCTION : UNE PERSPECTIVE HISTORIQUE</b>	<b>7</b>
Section 1	De la dimension technique de la gestion de production à sa dimension stratégique	8
	1 De la production au processus de production	8
	2 La complexification des objectifs	9
Section 2	L'évolution de la conception de l'organisation et ses implications pour le management de la production	11
	1 La théorie classique des organisations : les vertus de la division du travail et de l'organisation administrative	11
	2 La théorie comportementaliste ou behavioriste des organisations	13
	3 L'école des systèmes sociotechniques : l'entreprise système complexe	15
	4 L'apport de la théorie des coûts de transaction au management de la production	20
Section 3	L'avènement d'un nouveau modèle de production dans les pays occidentaux	23

1	Les soixante glorieuses du modèle taylorien-fordien	23
2	La remise en cause du système traditionnel	25
3	L'application du modèle japonais en Occident	27
Section 4	Les fonctions de la production	32
<b>2</b>	<b>LA PLANIFICATION DE LA PRODUCTION</b>	<b>37</b>
Section 1	Gestion des flux et principes de fonctionnement d'un système MRP	38
1	Un continuum de modalités de gestion des flux	38
2	Vers une fabrication de masse personnalisée ?	43
3	Historique et principes de base d'un système MRP	45
4	Explosion de la nomenclature et jalonnement réalisable des OF	50
Section 2	MRP et progiciels de gestion intégrée	67
1	Étude de cas : le MRP en pratique	68
2	L'optimisation des lancements : le regroupement des OF	79
3	Description d'un progiciel de GPAO	87
Section 3	Estimation de la demande et prévision des besoins	98
1	Typologie et niveaux des prévisions	99
2	Prévision et droite de régression linéaire	105
3	Prévision dans le cas d'une demande avec saisonnalité	112
4	Prévision d'une chronique sans saisonnalité : les méthodes de lissage exponentiel	123
5	Suivi et amélioration de la prévision	126
<b>3</b>	<b>LA GESTION DES STOCKS ET DES APPROVISIONNEMENTS</b>	<b>135</b>
Section 1	Définitions et concepts de base de la gestion des stocks	136
1	Définitions et typologies	137
2	Le rôle des stocks dans les processus productifs	142
3	Les principaux systèmes de gestion des stocks	146
4	Les coûts liés au stockage	153
Section 2	La gestion des stocks en avenir certain : le modèle de Wilson et ses prolongements	156
1	Le modèle de base	156
2	Modèle de Wilson et tarifs dégressifs	164

Section 3	La gestion intégrée des approvisionnements et des stocks en avenir certain	171
	1 Le regroupement des commandes : une stratégie « gagnant-gagnant »	172
	2 Politique de réduction de la valeur moyenne immobilisée en stock	177
	3 Intégration des limites physiques de stockage au modèle de base	180
Section 4	La gestion des stocks en avenir risqué	185
	1 Systèmes à point de commande	188
	2 Modèles de gestion de stocks calendaires en situation de demande aléatoire et de délai d'approvisionnement certain	201
<b>4</b>	<b>L'ORGANISATION MODERNE DE LA PRODUCTION : LE JUSTE-À-TEMPS</b>	<b>213</b>
Section 1	Vers un système de production flexible en Occident : la complexification des objectifs de la gestion de production	214
	1 La précarisation de l'environnement	214
	2 Le développement d'objectifs intégrateurs	215
Section 2	L'apprentissage d'une nouvelle culture organisationnelle : le juste-à-temps	226
	1 Les origines du juste-à-temps en Occident	227
	2 Les principes directeurs	229
	3 La mise en œuvre des principes du JAT	231
Section 3	Les instruments du JAT : les moyens de lutte contre le gaspillage	237
	1 Le gaspillage provenant des temps d'attente	238
	2 Le gaspillage occasionné par une implantation inadaptée des équipements	252
	3 Le gaspillage lié à la surproduction et aux stocks inutiles : les implications pour le système d'information	258
	4 Le gaspillage dû au défaut de coopération : le rôle du partenariat industriel	273
<b>5</b>	<b>LA LOGISTIQUE</b>	<b>283</b>
Section 1	Vers une approche intégrée et stratégique de la logistique	284
	1 Historique et définitions	285
	2 La logistique, une fonction au cœur de la création de valeur	287
	3 Un concept incontournable : le <i>Supply Chain Management</i>	292
Section 2	La logistique dans le cadre de l'ECR	303
	1 La gestion partagée des approvisionnements	304

	2	Le Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment	309
	3	Quelques éléments de réflexion critique sur les pratiques collaboratives	311
	4	Le <i>cross-docking</i> , outil logistique privilégié d'une stratégie ECR	316
Section 3		Standards et infrastructures au service de la logistique	320
	1	L'échange de données informatisé et l'identification des unités logistiques	321
	2	Les réseaux logistiques	327
	3	Description d'une plate-forme et organisation de la chaîne logistique	332
Section 4		La logistique à l'heure d'Internet	337
	1	Vers une « <i>e-supply chain</i> » collaborative et une entreprise étendue	337
	2	Les places de marché et la logistique	342
	3	Logistique et e-commerce : le cas des « cybermarchés » alimentaires	346
<b>6</b>		<b>LE MANAGEMENT INTÉGRÉ DE LA QUALITÉ</b>	<b>353</b>
Section 1		Définition et évolution de la qualité : vers une pratique de la gestion totale de la qualité	354
	1	La qualité : un concept vieux comme le monde...	355
	2	La gestion de la qualité chez Taylor : le respect des règles de fabrication des produits	356
	3	La période fordiste : l'adaptation du produit aux besoins du client	357
	4	L'ère de la qualité totale : la maîtrise du coût et la satisfaction de l'ensemble des attentes des consommateurs	359
Section 2		Les outils du management de la qualité	369
	1	L'intérêt d'une typologie des différents outils de la qualité totale	369
	2	Le détail de la typologie : des outils de support aux outils stratégiques	372
Section 3		Les principales méthodes statistiques au service du management de la qualité	382
	1	Les feuilles de relevé	382
	2	Le diagramme de Pareto	383
	3	Les histogrammes	385
	4	Le contrôle de la qualité des produits par acceptation	392
	5	Le process control	399

Section 4	Qualité et certification de l'entreprise : de l'assurance qualité au management total de la qualité	406
1	L'émergence des normes et leur intérêt	407
2	Les normes ISO 9000 version 1994 : l'assurance qualité	412
3	Les normes ISO 9000 version 2000 : le management total de la qualité	422
	 CORRIGÉS	 435
	 LISTE DES SIGLES	 455
	 BIBLIOGRAPHIE	 457
	 INDEX	 465

# AVANT-PROPOS

Cet ouvrage est le fruit de plusieurs années de recherche et d'enseignement en deuxième et troisième cycles, dans les domaines du management de la production. Nous souhaitons qu'il suscite rapidement chez le lecteur réflexions et critiques, toutes deux nécessaires à une assimilation intelligente et durable d'une discipline aussi riche que passionnante.

Afin de proposer un instrument de travail efficace, nous nous sommes toujours attachés à privilégier la clarté d'exposition et le raisonnement, ainsi qu'à illustrer les éléments théoriques par des exemples concrets. Leur provenance est double. La presse, les revues spécialisées, les actes de congrès et les sites Internet nous ont offert une large palette d'illustrations. Mais nous savons tous que rien n'est aussi intéressant et formateur que le « terrain ». Aussi, nous espérons que les entretiens et les visites d'entreprises, dont nous avons tenté de rendre compte le plus fidèlement possible, seront enrichissants et fourniront d'utiles compléments à certaines parties théoriques et techniques. Sur ce point, nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont reçus, et notamment à Messieurs J.-B. François (Carrefour, Ooshop.com), Pascal Germain (Décathlon), Pierre Gudefin (Ford) et Henri Halais (Ford).

Le pragmatisme qui nous a guidé tout au long de cet ouvrage nous a aussi conduit à consacrer une large place aux aspects techniques. Le management de la production se prête aisément à la formalisation ; d'ailleurs, les premiers à avoir enseigné cette discipline étaient le plus souvent des ingénieurs. Afin de rendre accessibles les modèles utilisés, sans pour autant tomber dans le piège de la « recette de cuisine », la plupart d'entre eux sont présentés à partir d'exemples chiffrés, et non de manière

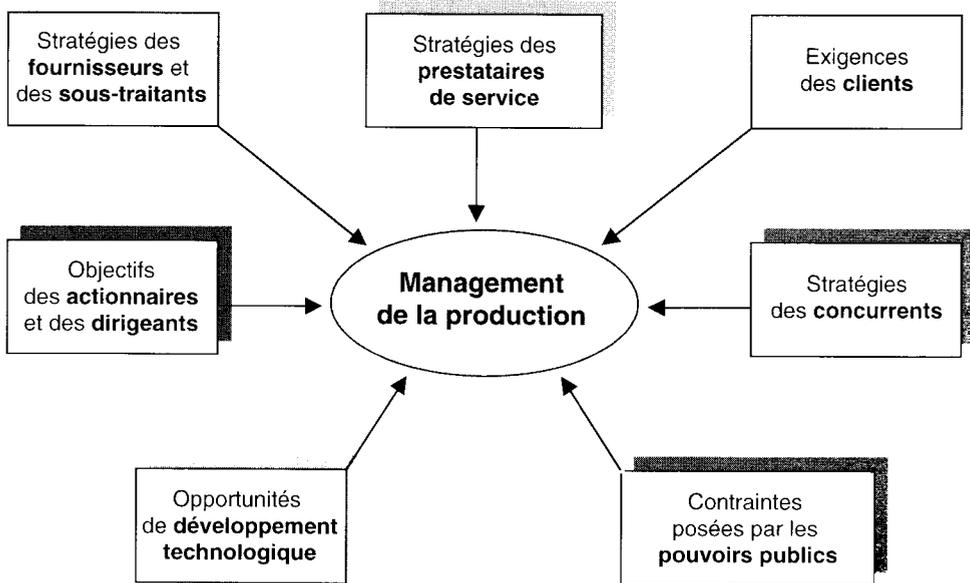
abstraite. De plus, devant le rôle croissant joué par l'informatique et les télécommunications dans le processus d'intégration de l'entreprise, il nous est apparu nécessaire d'offrir à ces thèmes de larges développements (progiciels de gestion intégrée, Internet, extranet, EDI, ERP, etc.). Des questions de réflexion et des exercices, corrigés en fin d'ouvrage, permettent au lecteur de vérifier l'acquisition des connaissances. Enfin, une bibliographie particulièrement complète, constituée de références d'ouvrages, d'articles et de sites Internet, lui permet d'élargir son champ de connaissances et d'investigations en fonction de ses propres centres d'intérêt.

# INTRODUCTION

Concevoir les processus de production, gérer les stocks et les approvisionnements, mettre en œuvre une politique de qualité, organiser et planifier la fabrication, et définir une logistique efficiente sont les principaux domaines couverts par le management de la production. Il est d'ailleurs plus facile de définir cette discipline à partir de ses objectifs que par rapport à ses composantes, tellement ces dernières sont nombreuses. Fabriquer au moindre *coût* des produits de *qualité*, *adaptés* aux désirs des consommateurs, et mis à leur disposition dans des *délais* raisonnables résume les impératifs actuels des entreprises. Dans un environnement où la *réponse optimale au consommateur* (Efficient Consumer Response) est au cœur de la stratégie des firmes, les responsables du management de la production doivent apporter une réponse globale au vecteur coût-qualité-délai-adaptabilité, et non s'arrêter à l'une de ses composantes.

Immergée dans un environnement concurrentiel, technologique et réglementaire, l'entreprise industrielle doit répondre à ces différents objectifs en prenant en considération un certain nombre de *contraintes*. Le passage aux 35 heures ou la législation dans le domaine du transport routier, les solutions techniques plus ou moins avancées, le pouvoir de négociation des partenaires et des clients, les stratégies des firmes concurrentes et les demandes des actionnaires sont autant de facteurs qui influencent le management de la production.

Pour mener à bien cette délicate mission qui impose de concilier des objectifs souvent contradictoires, l'entreprise a pris conscience de la nécessité d'adopter un management de la production *intégré* et *transversal*, c'est-à-dire fondé sur les *processus* plutôt que sur les fonctions. Mais ceci est plus facile à dire qu'à faire, car



la division du travail et la spécialisation des tâches héritées de Smith et Taylor semblent plutôt s'y opposer. Pourtant, avant même que le modèle japonais ne s'impose comme le modèle dominant, de nombreux chercheurs et dirigeants occidentaux soulignaient l'intérêt de réunir, de souder... et finalement d'intégrer les différentes fonctions de l'entreprise.

Culture, valeurs et objectifs partagés sont déjà des vecteurs d'intégration puissants. Les entreprises nipponnes furent dans ces domaines des précurseurs. Elles surent en effet créer autour de grands thèmes fédérateurs, comme l'élimination des gaspillages ou la recherche constante de la qualité, une profonde dynamique de progrès. En orientant tous les efforts dans une même direction, du premier fournisseur au dernier distributeur, elles ont favorisé une approche transversale de l'organisation de la production. Par l'importance donnée à la polyvalence, elles ont facilité le désenclavement des fonctions et des services. Le modèle japonais, bien connu sous le nom de toyotisme ou encore de TPS – Toyota Production System – est un concentré de pratiques en rupture avec les principaux éléments des modèles américains et européens antérieurs.

Enfin, grâce aux progrès considérables réalisés dans les technologies de l'information et de la communication depuis quelques années, l'entreprise peut aussi s'appuyer sur son *système d'information* pour parachever l'intégration de ses services, et même l'intégration de certaines fonctions de ses partenaires les plus proches. Les vagues de fusions-acquisitions, l'émergence de réseaux et l'éclatement des activités de production des grandes entreprises, rendent les systèmes d'information dits « propriétaires » de moins en moins performants. Pour être efficace, chaque maillon de l'entreprise doit pouvoir communiquer avec tous les autres, et avec les fournisseurs, les transporteurs, les distributeurs, etc. L'intérêt actuel porté à la *supply chain* et à la logistique n'est pas

un phénomène de mode. Il traduit une préoccupation majeure des dirigeants : faire en sorte que par l'intégration des processus, l'entreprise soit la plus performante et la plus compétitive possible. L'utilisation croissante des logiciels intégrés, et notamment des ERP – Enterprise Resources Planning – répond à ce souci. D'ailleurs, il est intéressant de constater que ce sont surtout des systèmes de gestion de la production qui furent à l'origine des systèmes d'information actuels, intégrés et modulaires.

Devant l'influence et la pertinence de ces questions, nous avons fait du thème de *l'intégration* le fil conducteur de ce livre. La gestion en flux tendus, la maîtrise totale de la qualité, le management de la logistique à travers l'entreprise étendue, le rôle joué par les NTIC... sont en effet autant de vecteurs d'intégration de l'entreprise moderne que nous nous sommes efforcés d'analyser. L'entreprise est donc aujourd'hui plus que jamais un système, un tout à optimiser par de nouvelles modalités de gestion, et non une addition d'optima locaux.

Il en va de même de cet ouvrage. Bien qu'une exigence de clarté nous ait conduits fort classiquement à l'organiser en une succession de chapitres, le lecteur qui souhaite en tirer le meilleur parti doit chercher à les intégrer dans une vision globale du management de la production.

# 1 L'ORGANISATION DE LA PRODUCTION : UNE PERSPECTIVE HISTORIQUE

Cette première approche du management de la production a pour objectif de définir ce qu'est la fonction de production, de la situer dans l'entreprise et d'analyser son évolution dans le temps. La production est étudiée ici dans une perspective dynamique. Elle est indissociable du contexte économique et technologique dans lequel elle s'inscrit et qui suscite son évolution.

Face à la globalisation économique et aux révolutions technologiques, la fonction de production devient de plus en plus stratégique dans la mesure où elle permet la maîtrise d'un environnement complexe et instable. Cette nouvelle dimension lui confère un rôle à part dans l'entreprise et justifie l'intérêt qu'on lui porte (section 1). Mais, l'appréhension des modalités d'organisation et de gestion de la production au cours du temps, nécessite que l'on situe cette activité au sein de l'ensemble plus vaste qu'est l'entreprise industrielle. Les outils que sont les théories de l'organisation et certaines théories économiques permettent de cadrer son évolution par rapport à celle de l'entreprise. Elles permettent aussi de comprendre, d'un point de vue conceptuel, comment s'opère le glissement d'une organisation standardisée vers un processus productif complexe (section 2). L'étude du passage du modèle taylorien-fordien au toyotisme illustre de façon complémentaire et concrète les mutations successives de l'organisation de la production. La description de ces deux modèles favorise non seulement leur appréhension, mais aussi leur analyse critique quant à leurs fondements et leur légitimité (section 3). Enfin, l'activité productive de l'entreprise, considérée désormais comme un système complexe, ne se limite pas à la production elle-même. Les performances de la fonction de production dépendent aussi des capacités des services annexes qui supportent l'activité de fabrication et interagissent de plus en plus avec elle (section 4).

---

Section 1	■	De la dimension technique de la gestion de production à sa dimension stratégique
Section 2	■	L'évolution de la conception de l'organisation et ses implications pour le management de la production
Section 3	■	L'avènement d'un nouveau modèle de production dans les pays occidentaux
Section 4	■	Les fonctions de la production

---

Section  
**1**

## DE LA DIMENSION TECHNIQUE DE LA GESTION DE PRODUCTION À SA DIMENSION STRATÉGIQUE

### 1 De la production au processus de production

Au sein de toute organisation, la *production* joue un rôle majeur puisqu'elle vise à la transformation de ressources afin de créer des biens et/ou des services. Concrètement, l'entreprise modifie les caractères physiques, spatiaux ou temporels des ressources dont elle dispose, en les *transformant*, en les *transportant* ou en les *stockant*. Mais, la production ne peut se percevoir, au même titre que les autres activités de l'entreprise, comme une activité rigide. Elle doit nécessairement s'adapter aux évolutions de son environnement, ainsi qu'à celles des autres activités de l'entreprise.

Si à l'origine la fonction de production était considérée isolément dans l'entreprise, il n'en est plus de même aujourd'hui et ceci pour deux raisons. D'une part, elle doit désormais être associée aux autres fonctions (finance, marketing, gestion des ressources humaines...) si elle veut atteindre son objectif qui est d'assurer efficacement la combinaison des facteurs qui contribuent à cette production (figure 1.1).

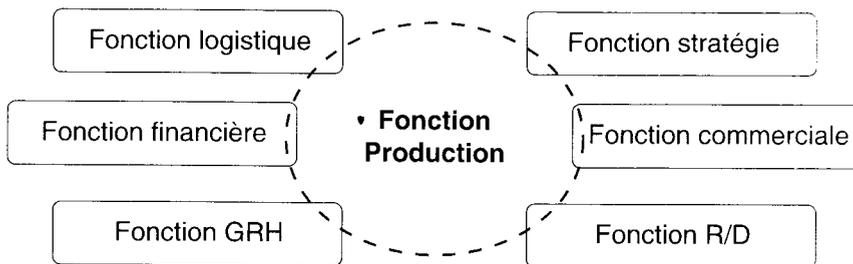


Figure 1.1 : La fonction de production au cœur du processus de création de valeur

D'autre part, son efficacité repose aussi sur le développement de fonctions annexes à la production elle-même, et qui n'en sont pas moins essentielles au processus de création de valeur. La plupart des activités qui visent à « servir » la production consistent à gérer les stocks, à planifier la production, à s'approvisionner chez les fournisseurs, à assurer le transport des marchandises et produits finis (voir point 4.)... L'importance prise dans l'organisation du système productif par la logistique – c'est-à-dire par la gestion des flux matériels et immatériels – tend à illustrer la place et la dimension de la fonction de production. De même, le lien étroit qui rattache la production à l'informatique prouve l'ampleur des ramifications du processus productif dans l'entreprise.

À côté du système physique de production, le *système d'information* devient un support indispensable. Dans la mesure où la fonction de production ne peut plus être considérée isolément dans l'entreprise, elle change de statut. De la simple « combinaison productive capital-travail », qui relevait d'une conception technique et mécaniste, on passe désormais à une dimension plus stratégique et organique, en envisageant les ramifications de l'ensemble du « processus de production » dans l'entreprise, et même au-delà, en intégrant clients, fournisseurs et sous-traitants... Le résultat de la combinaison productive dépend ainsi de la qualité des interactions entre ces différents acteurs. Le management de la production s'enrichit et se complexifie pour assurer une meilleure maîtrise de l'environnement. Il intègre donc à la fois un *aspect opérationnel* et un *aspect stratégique*, la gestion de production nécessitant désormais la mise en œuvre de nouvelles stratégies productives.

## 2 La complexification des objectifs

Le changement de nature de la fonction de production résulte aussi des mutations dans ses enjeux et ses objectifs. À l'origine, la *productivité* constituait l'objectif phare de l'entreprise industrielle. Celle-ci y répondait par une méthode d'organisation du travail privilégiant la décomposition de l'unité de production en ateliers indépendants, le chronométrage et la standardisation des opérations... c'est-à-dire l'OST. Toujours dans le cadre de cette démarche productiviste, la volonté de gérer les opérations est apparue grâce au développement de nouveaux outils au service du management, tels que la recherche opérationnelle, la simulation, le calcul de probabilités et les statistiques, ceci afin d'assurer une optimisation des stocks, un meilleur ordonnancement, un équilibrage des lignes de production, etc.

Aujourd'hui et depuis les années 80, sous la pression combinée des innovations technologiques et de la globalisation économique, la production doit composer avec des objectifs a priori contradictoires. Elle doit fabriquer des produits de *qualité*, dans les meilleurs *délais*, au moindre *coût*, tout en *s'adaptant* rapidement aux demandes changeantes des clients. Si l'automatisation et la flexibilité des équipements et des hommes parviennent au moins partiellement à répondre à ces contraintes, il n'en reste pas moins que la combinaison « qualité-délais-coûts-flexibilité » reste difficile

à réaliser. La gestion de production relève alors du domaine de la stratégie industrielle. Elle trouve des réponses à ses problèmes de gestion dans des analyses en termes de processus-organisation et de marché-produit.

Ainsi, *la gestion transversale* de l'organisation apparaît-elle comme une réponse appropriée aux problèmes posés par les découpages fonctionnels traditionnels, notamment en termes de gestion de projet, de gestion de la qualité, etc. Les *processus intégrateurs* qui se mettent en place permettent d'offrir des solutions cohérentes aux difficultés rencontrées lors d'un mode de gestion local.

## **REPÈRES : La campagne publicitaire Peugeot Perspectives**

Un exemple de processus intégrateur simple peut être trouvé dans la campagne publicitaire de Peugeot de mai et juin 2000. Celle-ci s'attache à montrer que « pour la première fois, le banquier, le technicien et l'assureur font partie de l'équipement ». L'objectif de cette campagne est de simplifier le processus d'achat de l'automobiliste qui souhaite changer de voiture tous les deux ou trois ans. La réunion des différentes fonctions lui permet de planifier son budget automobile ou bien d'être pris intégralement en charge par Peugeot. En effet, Peugeot Perspectives c'est « le financement, l'entretien, l'assurance, la reprise du véhicule et une voiture neuve tous les deux ou trois ans sous forme de mensualités ». Peugeot innove en montrant que le progrès, comme l'indique la publicité, n'est pas uniquement « affaire de technologie ». Il s'agit ici d'une innovation d'ordre organisationnel qui permet le regroupement de trois différentes fonctions, traditionnellement isolées, afin de faciliter l'achat du client. Si cette organisation s'apparente à une nouvelle démarche de gestion pour Peugeot, elle est plus ancienne aux USA, ce qui justifie que Ford Europe l'ait adoptée depuis déjà plusieurs années.

De même, des relations de type coopératif dans et entre entreprises se substituent-elles à des relations hiérarchiques classiques afin d'assurer une meilleure tension des flux. Enfin, l'investissement dans les technologies flexibles, et plus généralement dans la productique<sup>1</sup>, ainsi que le développement des nouvelles technologies de l'information constituent aussi dans ce nouveau contexte un outil stratégique opportun.

Tout ceci aboutit à une complexification du processus de production, qui tend à inclure des variables non seulement de plus en plus nombreuses, mais aussi de nature différente (stratégique plutôt qu'opérationnelle). Le gestionnaire se voit désormais confier la tâche délicate du *management stratégique et intégré de la production* afin de répondre aux différents enjeux de la gestion de production moderne.

---

1. La productique, ou GIAO (Gestion industrielle intégrée assistée par ordinateur) ou CIM (Computer Integrated Manufacturing), est un système global de conception, d'organisation, de gestion et de traitement de l'information d'une entreprise industrielle. Ce système s'appuie sur une base de données commune à toutes les activités de l'entreprise assistées par ordinateur : CAO, FAO, GPAO, MAO... atelier flexible, robot, manutention automatique, etc.

Mais, avant de traiter de la gestion de la production elle-même, c'est-à-dire des caractères et des modalités de fonctionnement de la fonction de production actuelle, des objectifs et des contraintes du système productif, de ses évolutions... il est important de situer la fonction de production au sein de l'ensemble plus vaste que constitue l'organisation industrielle. En effet, l'évolution de la fonction de production au sein de l'entreprise, tant dans son organisation que dans son fonctionnement, est largement reflétée par les différentes théories de l'organisation.

Section

2

## L'ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION DE L'ORGANISATION ET SES IMPLICATIONS POUR LE MANAGEMENT DE LA PRODUCTION

Influencées par le contexte socio-économique de leur époque, les théories de l'organisation constituent une précieuse *grille de lecture* pour le management de la production. En effet, elles permettent d'appréhender les origines ainsi que la nature des mutations successives de la fonction de production. Ainsi, il est possible de dégager selon le contexte quatre grandes conceptions de l'organisation, chacune ayant des répercussions sur la façon de gérer la production et de percevoir le système productif de la firme. L'entreprise industrielle est envisagée au départ comme une « boîte noire » dont la structure simple et cloisonnée privilégie un aspect mécaniste. Par la suite, une large place sera faite au facteur humain et une dimension sociale s'intègre alors à la dimension productive. Dans une troisième étape, c'est la conception générale de l'entreprise qui se modifie ; par analogie au système biologique humain, une approche systémique de l'entreprise se développe pour rendre compte de sa complexité et de son degré d'ouverture. Enfin, aujourd'hui, l'entreprise-système tend à être de plus en plus intégrée ; elle voit progressivement ses frontières s'estomper sous la pression de stratégies productives de type coopératif, ce qui favorise l'émergence de nouvelles formes d'organisation.

### 1 La théorie classique des organisations : les vertus de la division du travail et de l'organisation administrative

Les deux principaux auteurs habituellement classés dans le courant classique sont H. Fayol (1841-1925) et F.W. Taylor (1856-1915). Mais ce courant classique est lui-même issu d'un courant que l'on pourrait qualifier de « préclassique » et qui l'a largement inspiré. Au sein de ce courant, se retrouvent des auteurs comme A. Smith et C. Babbage qui, chacun à leur façon, insistent sur l'importance de la division du travail afin d'améliorer la productivité de l'entreprise industrielle de l'époque.

Père fondateur du courant économique libéral, Adam Smith s'intéresse aussi à l'organisation du travail dans l'entreprise. Pour Smith, la *division du travail* permet une forte augmentation de l'efficacité et de la productivité. Elle se traduit par une augmentation de l'habileté de l'ouvrier (effet d'expérience), elle permet d'alléger le travail de l'homme en autorisant l'utilisation de machines et enfin elle limite les pertes de temps liées au passage d'une tâche à l'autre et d'un outil à l'autre (temps interopérateur). En poussant un peu le trait, les industriels n'ont aucun mérite à procéder ainsi puisque la division du travail, nous dit Smith, est naturelle chez l'homme.

Charles Babbage propose une vision plus mercantile de la division du travail lorsqu'il considère que cette dernière offre aux industriels un moyen inégalé de réduire les coûts de production. En effet, selon la loi de l'offre et de la demande, il faudra payer très cher l'individu capable d'effectuer toutes les tâches d'une fabrication donnée, du fait de la rareté des individus possédant toutes les qualités requises. En revanche, on peut donner très peu aux nombreux individus ne possédant qu'une qualité. De plus, l'industriel peut acheter l'exacte quantité et qualité de travail nécessaire à l'accomplissement de chaque tâche.

Ces analyses préclassiques, qui font la part belle à la *spécialisation* des tâches, constituent le préambule au taylorisme. *L'Organisation scientifique du travail* développée par Taylor repose sur plusieurs principes majeurs dont la division du travail, la simplification des tâches, l'adéquation entre l'outil de travail et la tâche à accomplir, et la rémunération au rendement. Concernant l'organisation, une nette rupture est marquée entre les *tâches d'exécution*, réservées au centre opérationnel dont parle H. Mintzberg<sup>1</sup>, et les tâches plus nobles *de direction, d'organisation et de conception*, réservées à la ligne hiérarchique, à la technostructure et bien sûr au sommet stratégique. La ligne hiérarchique joue ici un rôle déterminant dans la mesure où l'entreprise industrielle de type tayloriste est une grande entreprise à structure hiérarchico-fonctionnelle (structure *staff and line*). Cette organisation repose sur des strates successives de commandement pour lesquelles la compétence et l'autorité de chacun sont clairement établies. L'autorité hiérarchique est très marquée, les ordres descendent de l'échelon supérieur jusqu'au centre opérationnel par délégation et l'information ne remonte que de façon tout à fait exceptionnelle.

À côté de Taylor, Henri Fayol se présente comme le second précurseur de la pensée administrative classique. Ce dernier auteur est surtout connu pour avoir développé une *perception globale* de l'entreprise et des tâches de direction. Les réflexions de Fayol visent à promouvoir au sein de l'organisation des principes d'administration et de gestion que les ingénieurs qui dirigent les entreprises ne maîtrisent pas du fait de leur formation technique. Pour se faire, il entame sa réflexion en distinguant six fonctions dans l'entreprise, dont la fonction de production qu'il nomme *fonction technique*<sup>2</sup>. Afin de promouvoir sa doctrine administrative, Fayol propose quatorze principes

1. H. Mintzberg, *The Structuring of Organizations*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall Inc., 1979.

2. Fayol définit les fonctions technique, commerciale, financière, de sécurité, comptable et administrative.

généraux d'administration et de gestion de l'organisation. Parmi ces principes se retrouvent la plupart des hypothèses à la base de l'OST. Ainsi, Fayol insiste-t-il sur l'importance de la division du travail, c'est-à-dire la spécialisation des travailleurs, afin de produire davantage et mieux avec le même effort.

Les entreprises de type classique offrent, pour le gestionnaire de la production, un terrain de réflexion très riche concernant les principes d'organisation du travail, mais elles ne sont pas pour autant exemptes de faiblesses. À la déshumanisation du travail taylorien liée à une trop forte division des tâches s'ajoute la rigidité d'une organisation trop administrative, le tout aboutissant le plus souvent au développement de mécanismes contre-productifs. Cette prise de conscience favorise l'avènement d'un nouveau courant de pensée : l'école comportementaliste ou behavioriste.

## 2 La théorie comportementaliste ou behavioriste des organisations

En privilégiant la dimension psychologique dans l'organisation, le courant behavioriste tend à proposer un modèle d'organisation alternatif au modèle classique.

### 2.1 La dimension sociale et psychologique de l'organisation productive

L'école comportementaliste (ou école des relations humaines ou encore mouvement behavioriste) s'est développée par réaction aux idées du courant classique et succède à trois faits marquants :

- le développement de grandes entreprises dont l'organisation se complexifie, rendant pratiquement obsolètes les structures classiques d'organisation du travail ;
- les mouvements de contestation ouvriers à partir des années 20 aux États-Unis ;
- les expériences menées sur le comportement des ouvriers, qui confirment les limites du modèle taylorien.

De plus en plus, les comportements qui se développent dans les entreprises industrielles l'écartent de son principal objectif, c'est-à-dire la maximisation du profit. Il est donc nécessaire de lui substituer un autre modèle de production, fondé entre autre sur le fait que *les motivations de l'homme* au travail ne sont pas seulement de nature matérielle. Elton Mayo a largement contribué à l'essor de cette réflexion grâce à des recherches menées sur le terrain. Les expériences célèbres d'Hawthorne, dites de la *test room* ou des « conditions d'éclairage » suggèrent que *l'intérêt porté à l'individu* compte plus, ou au moins autant, que les conditions matérielles de travail<sup>1</sup>.

De plus, il ressort d'études empiriques complémentaires menées par le même chercheur que les relations à l'intérieur d'un groupe sont primordiales. Lorsque le

1. E. Mayo, « Hawthorne and The Western Electric Company », *The Social Problems of Industrial Conflict*, London, Routledge, 1949.

chef devient *collaborateur* ou *conseiller*, et que la discipline n'est plus imposée par la hiérarchie mais intégrée par le groupe, alors le travail devient plus efficace. La *responsabilisation* des membres même au plus bas niveau de la hiérarchie, la reconnaissance de l'importance des relations informelles, *le travail de groupe* plutôt que l'individualisation du travail et la priorité donnée à la motivation sans qu'elle soit forcément de nature matérielle constituent les bases de l'école comportementaliste. Des auteurs tels que G. Homans, K. Lewin, A. Maslow ou D. Mac Gregor ont contribué à prolonger et enrichir l'analyse de Mayo. Ils ont insisté sur l'importance du groupe et du management participatif, sur le rôle des relations informelles, sur la nécessaire prise en compte des motivations et des besoins de nature non matérielle.

## 2.2 Un modèle de substitution au modèle classique

On peut trouver dans l'école des relations humaines les prémisses d'une nouvelle organisation du travail en rupture avec l'organisation taylorienne, et qui tendrait à valoriser l'homme au cœur de l'organisation. Ainsi, ce courant de pensée trouve un terrain d'application dans le cadre de l'organisation de type *toyotiste*. En effet, celle-ci privilégie la notion de groupe, et plus particulièrement les petits groupes de travail, afin de faciliter les relations informelles en face à face (voir les groupes de travail semi-autonomes). De plus, en proposant par exemple la création de *cercles de qualité*, de cercles de progrès, etc., ce sont les motivations non matérielles des individus au travail qui sont mises en avant. Les besoins psychologiques évoqués par Maslow et illustrés par les besoins d'appartenance, d'estime ou de développement naturel, sont aussi pris en considération à travers l'incitation faite à la prise d'initiative, à l'autocontrôle, à la formation...

Les styles de direction du modèle toyotiste correspondent au management participatif prôné par Mac Gregor (dans sa théorie Y). Enfin, pour éviter les comportements contre-productifs ainsi que les conflits organisation-individu issus d'une organisation pyramidale, d'une trop forte spécialisation des tâches, d'une ligne hiérarchique très stratifiée... le modèle japonais propose une structure plus horizontale, privilégiant les interrelations entre ses membres. De façon plus générale, il appartient donc de noter que la gestion de production à la « japonaise » rejoint les principes fondamentaux de l'école behavioriste dans son souci général d'amélioration de la *qualité*.

Celui-ci passe par l'implication de l'individu, donc par la confiance que la hiérarchie place dans l'individu. Cette confiance se traduit concrètement, non seulement par le développement des groupes de réflexion, mais aussi par des objectifs de qualité totale, de zéro stock, de zéro délai, de juste-à-temps, de maintenance totale... dont nous reparlerons en détail à l'occasion du chapitre 4.

La correspondance entre l'école des relations humaines et le modèle de production de type toyotiste peut donc être établie. Ainsi, tout comme l'école behavioriste répond aux faiblesses de l'école classique, le modèle de production toyotiste semble répondre aux limites de modèle taylorien. Toutefois, une dimension théorique fait défaut dans le courant de pensée behavioriste pour caractériser le modèle de production post-

## **REPÈRES : L'usine Toyota de Valenciennes : expérimentation du modèle japonais en France**

La nouvelle usine installée à Onnaing, près de Valenciennes, et produisant la Yaris, possède l'intéressante caractéristique d'être une fidèle transposition du modèle industriel japonais en France. L'organisation du travail en est l'exemple type et il n'est pas étonnant de constater que l'organigramme est aplati.

Les salariés qui travaillent en bord de ligne sont organisés en petites équipes de cinq opérateurs polyvalents, appelés *team members*. Assurer plusieurs tâches leur permet d'éviter à la fois la lassitude d'un travail routinier et ses inconvénients physiques (problèmes musculaires, mal de dos...). Chaque petit groupe est dirigé et conseillé par un *team leader*, dont les fonctions sont multiples : motiver l'équipe, l'aider en cas de difficultés, vérifier la qualité du travail avant que la voiture ne passe dans les mains de l'équipe suivante, assurer la maintenance préventive des équipements utilisés par son groupe... Le niveau hiérarchique suivant est le *group leader* ; il est responsable d'environ cinq équipes, soit d'une trentaine de salariés. Selon les ateliers, plusieurs *group leaders* seront ensuite rattachés à l'un des trois managers (atelier d'emboutissage, atelier de peinture et d'injection plastique, atelier de montage). De plus, en dehors de la ligne hiérarchique classique (*line*), on trouve en *staff* un *manager* pour la maintenance, pour la logistique, pour la qualité et pour l'ordonnancement.

Source : J.-C. Festinger, *Stratégie Logistique*, n° 33, janvier-février 2001.

taylorien. En effet, l'entreprise et la fonction de production sont, dans le nouveau modèle, non seulement ouvertes sur l'extérieur, mais aussi constituées d'un ensemble d'éléments en interaction. La référence à l'école des systèmes sociotechniques permet de trouver le support théorique complémentaire nécessaire à une meilleure appréhension de ce type d'organisation productive.

### **3 L'école des systèmes sociotechniques : l'entreprise système complexe**

Les écoles classique et comportementaliste, malgré des apports irréfutables, proposent une vision partielle de l'organisation productive moderne dans le sens où elles négligent tant la *complexité* des structures productives contemporaines que leur *degré d'ouverture*. Or, l'entreprise industrielle est constituée d'un ensemble d'éléments en perpétuelle interaction : interaction des hommes, des fonctions, des machines... au sein d'une même organisation ; et interaction des entreprises entre elles au sein de partenariat de plus en plus fréquents et complexes.

Les théories de la contingence structurelle développées par J. Woodward, ou A. Chandler insistent certes sur l'influence de variables internes comme l'âge, la taille, la technologie, la stratégie. L'impact de l'environnement est aussi démontré par trois « couples » célèbres : T. Burns et G. Stalker, F. Emery et E. Trist, P. Lawrence et

J. Lorsch. Mais ces différents éléments restent insuffisants pour refléter la réalité de l'entreprise industrielle, et en particulier la montée croissante de sa complexité, tant en interne que dans le cadre de ses relations avec son environnement. Or, il est possible à partir de la théorie des systèmes de décrire les nouvelles modalités d'organisation et de gestion de ces entreprises.

### 3.1 L'approche systémique de l'entreprise

L'objectif de la théorie générale des systèmes était de permettre l'analyse de certains domaines à l'aide de la science physique, alors que ces derniers en étaient totalement éloignés. La démarche habituelle conduit à étudier des « *phénomènes complexes dont les composantes sont reliées entre elles, et dont les comportements sont orientés dans un but ou une direction*<sup>1</sup> ».

L'entreprise industrielle en tant que « phénomène » correspond à cette description, ce qui permet de l'appréhender désormais avec la rigueur scientifique qui lui manque habituellement. L'organisation est ici assimilée à un système – productif – dont les caractéristiques ne peuvent être appréhendées si on les considère isolément. D. Katz et R. Kahn vont proposer, à partir de cette conception, la notion de « système social ouvert ». Celle-ci suggère deux idées complémentaires :

- il s'agit, d'une part, du niveau de *complexité* de l'entreprise : à côté des contraintes techniques qui agissent comme des facteurs de contingence sur la structure et le fonctionnement de l'entreprise, celle-ci doit aussi composer avec l'aspect humain, ce qui lui confère une double dimension sociale et technique ;
- il s'agit d'autre part, de *l'ouverture* de l'entreprise sur son environnement : en tant que système, elle est elle-même décomposable en toute une série de sous-systèmes parmi lesquels on trouve le sous-système de production. Ce dernier est donc constitué d'un ensemble d'éléments techniques et psychologiques en perpétuelle interaction. Il est aussi ouvert sur l'extérieur.

À partir de cette analyse systémique, on arrive à la conclusion que la fonction de production, au même titre que l'entreprise, ne peut être assimilée à la simple somme des parties qui la compose. Ses modalités de gestion en sont donc affectées, car on passe d'un management local à un *management global*. On trouve ici les fondements d'une totale remise en cause du principe de division du travail. Le management de la fonction de production, et de l'entreprise dans son ensemble, doit intégrer une dimension sociale, et refuser de reposer sur un cloisonnement de ses différentes composantes. En effet, l'optimisation de ses résultats dépend du *degré d'interaction* entre ses éléments.

En fait, en considérant que le tout est plus que la somme des parties, les principes d'autonomie et d'isolement des unités, des tâches et des individus sur lesquels reposait l'OST sont bannis pour privilégier des modes de gestion de la production de

1. J. Rojot, A. Bergmann, *Comportement et Organisation*, Paris Vuibert, 1989.

nature coopérative. Il s'en suit une montée de la complexité dans l'organisation de la fonction de production et dans ses modalités de gestion. Ainsi, c'est moins le nombre d'interactions entre les membres de la production qui peut causer des difficultés, que la nature de ces connexions (double dimension économique et sociale). De même, ces interactions peuvent prendre des formes relativement simples – connexions horizontales ou verticales –, mais elles peuvent aussi développer des formes plus élaborées, en diagonale. Ainsi, *l'approche transversale* de l'organisation que l'on voit se développer aujourd'hui constitue-t-elle une bonne illustration de ce nouveau mode de gestion en diagonale.

Mais l'analyse systémique repose aussi sur l'ouverture du système sur l'extérieur. Cela suppose donc l'établissement de *relations de coopération* entre les différents sous-systèmes de l'entreprise, mais aussi entre l'entreprise et les autres organisations productives qui constituent son environnement. Il s'agit alors pour l'organisation d'être capable d'assumer le nombre croissant de connexions qui se développent, mais aussi d'élaborer des mécanismes de gestion susceptibles de constituer des « kits de connexion » entre des systèmes dont les caractéristiques diffèrent. La montée de la complexité constitue alors une donnée inéluctable puisque l'on fait interagir des systèmes dont les objectifs, les buts... ne sont pas forcément semblables.

L'analyse systémique appliquée au fonctionnement de l'organisation productive conduit donc à une évolution des enjeux du management de la production. Ces enjeux sont triples, car il faut :

- être capable de substituer une *gestion globale* fondée sur le *management des flux*, à une gestion locale basée sur l'individualisation des différentes composantes de l'organisation productive ;
- identifier les différents *états* successifs de l'organisation productive, en sachant que la multiplication des interactions tend à les modifier dans le temps ;
- être conscient que ce sont les *frontières* de chaque fonction et de l'organisation elle-même qui sont progressivement gommées, l'ouverture de chaque système favorisant leur « porosité ».

D'une vision statique et cloisonnée de l'organisation, il faut passer à une vision plus dynamique et globale, et adapter les modes de gestion en conséquence.

### 3.2 Le système de production

L'analyse sociotechnique constitue ainsi l'approche la plus fidèle de l'organisation actuelle du travail. En effet, en prenant en compte la dimension psychologique de l'individu, elle conforte la position de l'école behavioriste. Elle permet la remise en cause de la plupart des principes d'organisation du travail de type taylorien, et le développement de nouveaux principes de management basés sur la motivation, l'autonomie et la coopération. Concrètement, cela implique la restructuration des tâches de l'ouvrier, sa formation et son association au processus de décision. Des

*groupes de travail autonomes* et semi-autonomes voient ainsi le jour en Suède, en Norvège et au Japon.

## **REPÈRES :** Le modèle suédois

Les entreprises suédoises innovent sur le plan social avec en tête un nouveau modèle : ABB. Dès 1992-1993, le géant helvético-suédois de l'électronique lance son programme T50. Il consiste à réduire de moitié tous les temps de conception, de fabrication, d'assemblage. Dans les usines, le T50 se traduit par une évolution sur le modèle de Uddevalla. Désormais, le travail se fait en équipes relativement autonomes dont les membres, de plus en plus polyvalents, ont en charge une grande partie des tâches administratives liées à la production telles que la planification, l'organisation du travail, le contrôle qualité, mais aussi, parfois, la commande de pièces détachées et l'organisation des expéditions.

L'expérience fait des émules et la plupart des grandes entreprises industrielles suédoises ont mis en place des structures comparables. Le programme T50 a le soutien à la fois de la direction et des syndicats. Les premiers se réjouissent de l'augmentation de la compétitivité liée à des structures de travail plus légères. Les seconds ont toujours défendu l'enrichissement du contenu du travail ; de plus, ce type de programme favorise l'atténuation de la frontière entre les cols blancs et les cols bleus, ainsi que l'aplatissement des hiérarchies. Cette refonte de la structure pyramidale a d'ailleurs eu pour conséquence la disparition progressive des contremaîtres dans les ateliers et des « chefs » dans les bureaux. Les entreprises ont dû alors imaginer de nouvelles perspectives de carrière pour les jeunes cadres. Celles-ci se traduisent par le développement du métier d'expert, de chef de projet et par une incitation à une plus forte mobilité interne, notamment à l'international.

*Source : « Suède, les habits neufs de l'innovation sociale », Enjeux Les Échos, octobre 1999.*

Le fait de considérer l'entreprise comme un système ouvert permet aussi de justifier la place prise par les *relations de coopération* intra et inter firmes. Les interactions entre les acteurs de la production au sein de l'organisation et entre organisations, à travers les stratégies de partenariat nées, fondent leur légitimité dans ce modèle. De même, la notion d'*entreprise intégrée* est parfaitement décrite grâce à la théorie des systèmes puisque celle-ci insiste sur le rôle des connexions et des flux. La *gestion transversale* de l'organisation, ainsi que les modalités de gestion de type *concourant*<sup>1</sup> mises en œuvre en particulier lors des processus de gestion de l'innovation, semblent trouver aussi dans l'analyse systémique un support théorique pertinent.

En fait, en ouvrant la « boîte noire » sur son environnement, en optant pour une autorégulation des différentes composantes de l'organisation, et en privilégiant la gestion des flux et des processus d'interconnexion, cette approche permet non seulement d'expliquer les limites des modes d'organisation traditionnels de la production,

1. Transversalité et concourance seront étudiées en détail à l'occasion du quatrième chapitre.

mais surtout de dévoiler de nouvelles potentialités productives. Parmi ces potentialités, l'homme tient bien sûr une place à part.

Mais une autre dimension semble de plus en plus importante : il s'agit de *l'information*. Le développement de *systèmes d'information* dans l'entreprise et entre entreprises (systèmes d'information partagés) reflète l'importance prise par l'échange des flux et la nécessité de disposer d'outils de maîtrise de la complexité. De même, les nouvelles *technologies de l'information* constituent désormais un enjeu de taille pour l'entreprise industrielle. Elles sont facteurs de performance, non seulement à cause du contexte de globalisation, mais aussi parce que les potentialités offertes par l'organisation productive résultent des interactions et coopérations entre acteurs que ces technologies permettent de gérer.

## **REPÈRES :** La gestion de la complexité en dynamique grâce au *business system*

Avoir une offre compétitive aujourd'hui est la condition nécessaire, mais non suffisante, d'un succès durable pour l'entreprise contemporaine. L'offre de la firme doit désormais reposer sur un système productif et logistique – un système entrepreneurial ou *business system* – qui assure son renouvellement accéléré, tout en permettant une rapide reconfiguration de l'entreprise dès qu'une opportunité se présente. Il ne suffit plus de disposer de savoir-faire pour gagner en compétitivité. Il faut « gérer la complexité en dynamique », c'est-à-dire « combiner la capacité à prendre des risques sur la viabilité d'un modèle économique, sur les performances d'un modèle technique dans un contexte de développement exponentiel des fonctionnalités, et sur la complexité d'un modèle informationnel toujours plus tendu ». L'enjeu pour les grandes entreprises consiste à jouer les « caméléons » en fonction des opportunités qui se présentent, qu'elles soient techniques (innovations) ou concurrentielles (nouveaux rapports de force). Ceci pose bien sûr des problèmes d'organisation et d'intégration que le *business system* parvient à résoudre. La plupart des fonctions pouvant être externalisées, il s'agit pour « l'entreprise vide » (ou *hollow corporation*) de garder le contrôle de chacune d'entre elle et d'assurer sa propre cohésion grâce à la qualité et la puissance de son système d'information partagé.

Source : « La guerre des *business systems* », *Les Échos*, 10 avril 2000.

L'école sociotechnique permet d'appréhender l'entreprise productive sous un angle véritablement nouveau par rapport aux théories traditionnelles, tout en lui offrant des outils de gestion adéquats pour l'ensemble de ses ressources. Mais si l'analyse des organisations emprunte avec pertinence certaines pistes de recherche aux sciences biologiques et sociales, elle trouve aussi dans la science économique matière à réflexion.

## 4 L'apport de la théorie des coûts de transaction au management de la production

Dans la lignée des travaux de R. Coase, l'analyse en termes de coûts de transaction<sup>1</sup> de Williamson<sup>2</sup> présente un intérêt certain en matière d'organisation productive car, outre le fait qu'elle permet de justifier l'existence même des entreprises (en considérant l'échec des mécanismes de marché), elle permet aussi de justifier certains choix stratégiques à forte implication productive. En effet, il est dans certaines situations plus intéressant – car plus économique et plus sûr – pour les acteurs *d'internaliser les transactions* au sein d'une firme plutôt que de recourir systématiquement au marché. La coordination des activités par l'entreprise au moyen du principe de hiérarchie se substitue alors à la coordination des activités par le marché au moyen des prix. Les entreprises remplacent le marché en permettant la minimisation des coûts de transactions propres à l'élaboration des contrats (d'où des économies).

En fait, l'internalisation des transactions au sein d'une firme prévaut dans tous les cas où les coûts de transaction sont importants si l'on recourt au marché. La présence de certaines conditions favorise le *processus d'internalisation*<sup>3</sup>. Il en est ainsi lorsque l'environnement est incertain et complexe, que le nombre de participants est relativement faible et que les actifs sont spécifiques. De plus, la rationalité limitée des acteurs et leur opportunisme favorisent aussi ce processus.

Ainsi, les *stratégies d'intégration* entre entreprises trouvent-elles dans l'analyse de Williamson une justification théorique pertinente. L'intégration est un moyen par lequel les firmes parviennent à maîtriser la complexité et l'incertitude de l'environnement, et ce, grâce à une minimisation des coûts de transaction et un accroissement de la sécurité. Le passage d'une sous-traitance de type traditionnel à une *sous-traitance de type partenariale* illustre le développement d'un nouveau modèle d'organisation basé sur la quasi-intégration des entreprises. L'autorité se manifeste ici en dehors de l'entreprise elle-même, puisqu'elle s'exerce entre organisations *quasi intégrées*. Plus précisément, elle s'exerce en faveur du donneur d'ordres considéré dans la relation d'échange comme un acheteur, et au détriment du sous-traitant assimilé au vendeur. Les conditions de l'échange font ici référence par exemple à la conception du produit, au rythme des livraisons, aux moyens techniques à mettre en œuvre<sup>4</sup>...

---

1. Les coûts de transactions recouvrent notamment les coûts d'information liés à la négociation et à la conclusion du contrat, mais aussi les coûts de suivi du contrat, de contrôle... En terme de gestion de la production, il s'agit par exemple de coûts liés à la recherche de fournisseurs, à la comparaison des prix des inputs, à la gestion de la qualité du processus de production et du produit.

2. O.E. Williamson, *Market and Hierarchies, Analysis and Antitrust Implications*, New York, The Free Press, 1965.

3. P. Médan, T. Warin, *Économie industrielle, une perspective européenne*, Paris, Dunod, 2000.

4. M. Hollard, 1994.

Les formes de la quasi-intégration peuvent différer – quasi-intégration verticale, horizontale ou oblique – ce qui conduit alors à observer une variété de structures hiérarchiques, telle que la firme réseau et le réseau d'entreprises. Aujourd'hui, le degré de subordination du sous-traitant tend de plus en plus à s'estomper, et la quasi-intégration horizontale prend le pas sur la quasi-intégration verticale. La *confiance* entre acteurs se substitue partiellement à la relation d'autorité et au contrôle exercé par le donneur d'ordres. La conception du produit dépend du sous-traitant, dont les compétences augmentent puisqu'il est sollicité en matière de gestion de l'innovation. La durée du contrat de sous-traitance au sein de ce nouveau cadre institutionnel s'allonge, ce qui tend à substituer une logique de coopération à une logique de subordination.

## REPÈRES : *Market places* et réduction des coûts de transaction

Une place de marché électronique, encore appelée carrefour d'affaires sur Internet, est un lieu de rencontre « virtuel » entre acheteurs et vendeurs, sur lequel s'échangent des produits et des informations. Bien que l'activité soit récente, on distingue généralement trois types de *market places*, en fonction des besoins :

Critère déterminant	Volumes échangés	Relation avec le fournisseur	Objectifs prioritaires	Type de place de marché
Prix faible	Variables	Non stratégique	Réduction des coûts administratifs des transactions	e-procurement ou places horizontales
Prix élevé	Forts	Non stratégique	Économies d'échelle	Places d'enchères ou d'enchères inversées
Prix élevé	Forts	Stratégique	Synchronisation de la chaîne d'approvisionnement	Places verticales ou places sectorielles

Les places de marché favorisent donc la quasi-intégration des entreprises : on parle de quasi-intégration électronique. Selon Olivier Vidal, associé d'Andersen Consulting, « *la technologie apporte ainsi une forte cohésion sans les inconvénients de l'intégration verticale* ». La présence de nombreux fournisseurs référencés et de leurs catalogues, « en ligne », permettra aux acheteurs de réduire les coûts de transaction. En effet, sur la base de la définition précédente :

- la recherche des fournisseurs est facilitée puisqu'ils participent à la place de marché ;
- la comparaison des prix des inputs est particulièrement rapide et aisée dans la mesure où chaque fournisseur propose son catalogue en ligne ;
- les coûts de suivi du contrat sont réduits grâce à l'utilisation des logiciels.

Les places de marché sont présentes dans de nombreux secteurs. Présentons les caractéristiques des plus célèbres :

Nom de la place de marché	Secteur	Initiateurs ou principaux participants
Exostar.com	Aérospatiale Défense	Boeing, Raytheon, Lockheed Martin et Bae Systems
MyAircraft.com	Aérospatiale Défense	United technologies et Honeywell
CPGMarket.com	Agroalimentaire	Danone, Nestlé et Henkel
Covisint	Automobile	General Motors, Ford, DaimlerChrysler, Renault-Nissan
GlobalNetXchange.com	Distribution	Carrefour et Sears

Dans certains cas, la quasi-intégration semble si forte que les autorités concurrentielles craignent de voir se transformer les places de marchés en cartels ou en ententes. C'est pourquoi la Federal Trade Commission et la Commission européenne se sont penchées sur certains dossiers (Covisint et MyAircraft.com par exemple), sans finalement les interdire. Les *market places*, et plus généralement les technologies de l'information et de la communication conduisent à d'importants changements, notamment dans l'organisation de la production et de la logistique (cf. chapitre 5).

Parallèlement au phénomène de quasi-intégration, le développement de relations de coopération entre firmes concurrentes juridiquement indépendantes, sous la forme d'*alliances stratégiques*, trouve aussi dans l'analyse de Williamson un support théorique pertinent. Cette croissance de type contractuel renvoie en effet à la possibilité de minimiser les coûts de transaction en établissant une relation de collaboration sur la base d'un contrat ponctuel et réversible. C'est donc dans le cadre d'une double logique de coopération-concurrence, tendant à la minimisation des coûts de transaction, que de *nouveaux types d'entreprises* prennent forme.

La théorie systémique de l'organisation permet de considérer l'entreprise, d'un point de vue conceptuel, comme un système complexe et ouvert sur son environnement qui obéit à une dynamique constante. Cet impératif d'adaptation se traduit par une évolution au niveau du management des opérations de la production, comme l'illustre le passage du système de production taylorien au système toyotiste. L'analyse des facteurs d'évolution de ces deux modes d'organisation de la production complète d'un point de vue concret notre étude de l'organisation de la production. Elle permet de connaître les sources du modèle occidental d'organisation du travail et d'appréhender de façon critique ces deux modèles de production.

Section

3

## L'AVÈNEMENT D'UN NOUVEAU MODÈLE DE PRODUCTION DANS LES PAYS OCCIDENTAUX

Si l'évolution des entreprises est soumise à une dynamique constante, on peut noter toutefois la suprématie de deux modèles d'organisation de la production. Il s'agit du modèle taylorien-fordien et de celui qui lui a succédé, le modèle toyotiste. Si leur opposition est a priori assez marquée, on ne peut toutefois pas manquer de prendre le contre-pied de cette opposition en s'interrogeant sur la capacité de résistance du modèle traditionnel.

### 1 Les soixante glorieuses du modèle taylorien-fordien

#### 1.1 Le contexte

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, face au développement des infrastructures de communication et de transport, face à la hausse du niveau d'éducation... des besoins nouveaux apparaissent. Le système de production traditionnel qui prévaut jusqu'alors, l'artisanat, est obsolète. Les années entre 1900 et 1960 marquent une période particulièrement favorable à l'essor des entreprises et au développement d'un nouveau modèle d'organisation de la production. Nos sociétés traversent alors une période qualifiée d'*économie de rareté* (la demande est supérieure à l'offre).

Après 1914, il faut reconstruire les économies, reconverter le système industriel car la pénurie est forte. On entre dans une période de consommation forte face à laquelle les entreprises répondent par un nouveau modèle de production, en rupture avec le système artisanal, et qui fait déjà ses preuves aux États-Unis depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : le modèle de production de masse. Afin de répondre à la demande, tout en rationalisant son système productif et en maîtrisant ses coûts, l'entreprise augmente les quantités produites et *standardise* les pièces fabriquées. Ceci contribue à dégager des économies d'échelle et donc à baisser les charges fixes. Mais une rationalisation totale de la production nécessite aussi la maîtrise des charges variables.

L'OST, développée par Taylor aux États-Unis et appliquée par Ford dans son usine automobile de Highland Park à Detroit, constitue une juste réponse à ce problème. Basée notamment sur une spécialisation accrue du travail individuel et sur la division des tâches, cette organisation scientifique du travail assure, quant à elle, la baisse des charges variables. La mise en place de ce système productif permet l'obtention de gains de productivité conséquents, répartis entre la direction et les ouvriers, et donc le développement d'une consommation de masse.

#### 1.2 Les principes de l'OST

L'intérêt de la division du travail, développée par Smith dans le cadre de sa manufacture d'épingle, n'échappe pas à Taylor, véritable précurseur en matière de ratio-

nalisation du travail industriel<sup>1</sup>. Taylor connaît bien tous les rouages de l'entreprise industrielle car il fut successivement ouvrier mécanicien, ingénieur en chef puis ingénieur-conseil en organisation. Très vite, il s'attaque à ce qu'il considère être la cause première de la moindre productivité : la *flânerie* des ouvriers. Il combat la « *flânerie systématique* »<sup>2</sup> et désire obtenir « *une journée loyale de travail* », c'est-à-dire un volume quotidien de travail correspondant aux capacités réelles des ouvriers. Souhaitant assurer la prospérité des employés et des entrepreneurs, mais conscient des difficultés pour concilier des objectifs que beaucoup considèrent contradictoires, il pense que le moyen d'aboutir à une situation loyale implique le respect de certaines règles. Taylor propose alors une théorie de l'organisation productive, appelée OST, qu'il fonde essentiellement sur quatre grands principes :

- la *division du travail* : fondée sur la séparation entre conception et exécution du travail, elle suppose la création d'un bureau des méthodes chargé de définir les processus opératoires les plus efficaces et les plus rentables ;
- la *sélection des ouvriers* : les dirigeants choisissent les ouvriers sur la base de méthodes de sélection soigneusement réfléchies, puis les forment de façon à obtenir la meilleure adéquation entre l'ouvrier et les opérations à effectuer ;
- le *contrôle du travail* : les dirigeants doivent veiller à la stricte application des processus opératoires par les employés ;
- le *partage des responsabilités* : qui doit s'effectuer équitablement entre les membres de la direction et les ouvriers, sur la base des qualifications respectives de chacun.

En fait, le travail industriel proposé repose sur une *codification des tâches* et sur une analyse des processus et des temps de fabrication par le bureau des méthodes et le bureau des études. La conception est donc tout à fait distincte de l'exécution. Des procédures sont élaborées afin de détailler la manière dont doit être effectué le travail. Le travail se fait de façon individuelle, chaque ouvrier étant spécialisé dans une tâche particulière. Les relations horizontales sont inexistantes car elles provoquent des pertes de temps ; seules les communications de nature hiérarchique dans le cadre d'un management fonctionnel sont instituées. L'étude des tâches et des temps conduit à la mise en place d'une *rémunération au rendement* : un système d'intéressement individuel sous forme de bonus, de salaire au temps ou à la pièce se développe afin de stimuler la productivité du travail. Afin de rendre les tâches moins pénibles physiquement, Taylor a aussi largement contribué à la *mécanisation* des processus de production (il fut lui-même inventeur d'une machine-outil).

H. Ford appliqua les principes de l'OST dans son usine automobile de Detroit où il instaura le travail à la chaîne. Il fonda son organisation productive d'une part, sur

1. Il expose ses principes d'organisation dans *Principles of Scientific Management* en 1911.

2. Taylor distingue deux types de flânerie : celle qui est « *naturelle* » et qui se traduit par une inclinaison personnelle conduisant à ménager ses efforts et celle qui est dite « *systématique* » lorsque les individus alignent leurs efforts sur les collègues qui en font le moins.

la *simplification* de la nature et des méthodes de production des voitures (la célèbre Ford T noire) et d'autre part, sur l'augmentation des *salaires* des ouvriers de façon à leur permettre d'acheter plus facilement les voitures fabriquées. Un cercle économique vertueux s'organise alors, les hausses de salaire permettant le développement d'une consommation de masse.

## 2 La remise en cause du système traditionnel

### 2.1 Les limites de l'OST

Malgré la très grande efficacité de ce mode de production, quelques limites se dégagèrent progressivement de ce système :

- la *dépossession du savoir-faire* de l'ouvrier. L'OST a privé le travailleur des éléments qui donnent un sens à son travail, c'est-à-dire l'organisation par équipe, le choix de l'outil et des modalités d'exécution du travail, le contrôle de son travail... Cette dépossession s'est faite au profit de la direction, ou plus exactement au profit d'une nouvelle catégorie d'employés supérieurs (appelée par la suite *technostructure*). L'essentiel du savoir-faire de l'employé traditionnel est ainsi transféré au bureau des méthodes, qui le renvoie ensuite à l'ouvrier sous forme d'ordres de travail décrivant chaque opération (fiches de poste, gammes opératoires) ;
- le *contrôle abusif* de l'ouvrier. L'individualisation du travail, la séparation et la décomposition des tâches ainsi que la définition précise de leur contenu, permettent un contrôle systématique et permanent du travail effectué. Le contremaître occupe une place de choix dans ce système, souvent considérée comme excessive ;
- la *démotivation* au travail. Le taylorisme crée pour l'ouvrier des tâches répétitives, monotones et sans intérêt, aboutissant à un travail déshumanisé et démotivant. Taylor lui-même remarque déjà certains effets pervers, notamment en ce qui concerne la répartition des gains liés à la hausse de la productivité.

Les abus de certains gestionnaires favorisent progressivement le développement d'un esprit de contestation chez les ouvriers. Aux États-Unis, dès les années 20, un mouvement de mécontentement se traduisant par des grèves se fait ressentir. En Europe, la mise en place du taylorisme étant plus tardive, il faut attendre les années 50 pour voir apparaître un certain malaise face à un système industriel qui tend à déshumaniser le travail et à démotiver les ouvriers. Une réponse à ce premier signal de crise consistera, aux États-Unis tout d'abord et en Europe par la suite, à élargir le travail puis à l'enrichir. L'élargissement du travail consiste à augmenter le nombre de tâches effectuées par une personne ; il s'agit d'une extension horizontale du travail qui conduit à multiplier les tâches, mais sans changer le degré de responsabilisation ou d'autonomie de l'individu. L'enrichissement du travail se traduit, au contraire, par une augmentation du champ de responsabilité du travailleur ; l'extension du travail est ici verticale dans la mesure où il a plus de responsabilités, plus d'autonomie et plus d'initiatives à prendre.

Mais cette solution de fortune trouvera vite ses limites et une remise en cause plus profonde du management de la production et des opérations s'imposera alors.

## 2.2 Un système obsolète face aux évolutions économiques et sociales

De 1960 à 1980, les consommateurs qui ont obtenu une augmentation de leur pouvoir d'achat liée aux gains de productivité substantiels dégagés par la production de masse sont plus exigeants. En cette période d'abondance, la gestion de l'entreprise devient alors plus « commerciale » laissant une place d'honneur à la fonction marketing. Face à une demande de plus en plus exigeante et variée, il est difficile pour l'entreprise de réduire davantage ses charges dans la mesure où la production tend vers des fabrications en petites séries. Mais les gestionnaires ne tirent pas immédiatement les conséquences de cette nouvelle donne sur le système productif. Et, au lieu de *repenser* le management de la production dans sa globalité, ils se contentent trop souvent d'améliorer la maîtrise de techniques sophistiquées, notamment grâce au développement conjoint de la recherche opérationnelle et de l'informatique.

Pendant ce temps, l'environnement de l'entreprise continue d'évoluer et se présente par une forte instabilité. À partir des années 70, le développement progressif de la concurrence internationale et des structures de communication mondiales complexifient l'environnement industriel, ce qui laisse apparaître une ligne de *fracture de nature économique et technologique* (P. Veltz et P. Zarifian, 1994). La productivité découle de l'automatisation du processus productif et la structure des coûts est modifiée. Au risque de perdre des parts de marché au profit de nouveaux concurrents, les entreprises occidentales doivent donc s'attacher à construire un *modèle de production flexible* et compétitif sur une base mondiale. Enfin, avec la crise économique provoquée par les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, le travail prend une autre dimension dans la mesure où il devient plus rare. Une refonte du système industriel par rapport à l'organisation traditionnelle s'impose alors. Mais, il ne suffit plus d'élargir et d'enrichir le travail. Une rupture par rapport aux pratiques issues de l'OST s'impose de façon évidente et conduit à envisager des méthodes de management plus complexes car plus globales. On a là une troisième ligne de *fracture d'ordre managérial*. Elle correspond à l'apparition d'un nouveau discours sur le management qui insiste sur une gestion globale des ressources et met l'accent sur la coordination entre les personnels et les activités.

Face au développement de l'automatisation et de la robotisation, les principes de Taylor perdent progressivement de leur intérêt et de leur substance. En effet, les tâches spécialisées et répétitives, traditionnellement prises en charge par les hommes, sont désormais dévolues aux machines. Mais à côté de la dimension technologique, d'autres éléments de nature économique et sociale prouvent l'inadaptation progressive du système taylorien-fordien. En confrontant le système traditionnel et le contexte de stabilité et de pénurie de l'époque aux exigences de la situation industrielle actuelle, P. Veltz et P. Zarifian font apparaître les caractéristiques du nouveau système de production et les limites intrinsèques de l'ancien :

### ► *Le management par objectif*

Le modèle d'efficacité locale autour du concept d'opération et de tâche sur lequel reposait l'OST est désormais inadapté. Le travail était traité comme un objet dans la mesure où il était divisé en opérations, elles-mêmes découpées en tâches : il était donc complètement séparable des personnes chargées de sa réalisation. Aujourd'hui, ce modèle est inadapté au contexte industriel moderne. On n'hésite plus à contester la forme du travail. De plus, face à un environnement dynamique, instable et complexe, l'opération elle-même doit intégrer des objectifs multiples et de la flexibilité. La tendance est de substituer à la définition classique des tâches une définition par les objectifs à atteindre ou par les fonctions à remplir.

### ► *De l'efficacité locale à l'efficacité globale*

La notion de coopération appliquée au taylorisme – si l'on peut parler de « coopération » dans ce type de modèle – se traduit logiquement par un prolongement du modèle d'opération. Elle est en fait l'agrégation des activités ; le passage de l'efficacité locale à l'efficacité globale s'effectue grâce à une mise en séquence des opérations et grâce à l'additivité des performances locales. Or, aujourd'hui, la performance en termes de qualité, de flexibilité, de délai et de coût est de moins en moins additive mais de plus en plus *interstitielle*. Cela signifie qu'elle dépend de l'organisation considérée d'un point de vue global et de la qualité des interactions entre ses différentes composantes (voir le paragraphe consacré à la conception systémique de l'entreprise).

### ► *L'apprentissage collectif*

La troisième opposition entre l'évolution actuelle et les caractères de l'OST se traduit par une crise du modèle d'innovation et d'apprentissage. Traditionnellement, l'innovation et l'apprentissage sont considérés comme des détours de production et sont, en quelque sorte, séparés des phases de fonctionnement industriel courant. Aujourd'hui, non seulement les moyens employés dans les phases de conception des produits et procédés sont comparables voire supérieurs à ceux consacrés à l'exploitation courante (fabrication et distribution), mais la capacité d'apprentissage, c'est-à-dire de maîtrise d'un nouvel outil, d'une nouvelle organisation, devient un critère déterminant de l'efficacité industrielle. Les processus de conception et production industrielle mis au point par une entreprise deviennent alors inappropriables par une autre entreprise, car ils sont basés sur l'apprentissage et la mémoire individuelle et collective.

## 3 L'application du modèle japonais en Occident

### 3.1 Les caractéristiques du modèle flexible

L'inadéquation du système taylorien-fordien aux évolutions industrielles actuelles conduit à envisager un modèle productif original susceptible de répondre à de

nouveaux impératifs économiques, technologiques et sociaux. Ces impératifs se traduisent concrètement par une demande exigeante, variée et instable à laquelle le système de production de l'entreprise doit s'efforcer de répondre par une production plus *flexible*. Cette flexibilité conduit l'entreprise à adopter un modèle, le *juste-à-temps* (JAT) ou toyotisme, qui trouve son origine au Japon<sup>1</sup>, dans les usines Toyota, en 1950.

D'un point de vue organisationnel et managérial, cette démarche est originale et apparemment simple par rapport au modèle taylorien-fordien. Le nouveau modèle de production se base en effet sur :

- la *qualité* totale : la qualité doit être maîtrisée par l'ensemble du personnel, mais aussi par les partenaires de l'entreprise (fournisseurs, sous-traitants et distributeurs). Cette implication générale permet d'assurer la robustesse du processus productif. Elle mobilise aussi tous les employés autour d'un objectif commun (on trouve ici la validation des thèses de l'école des relations humaines (voir 2.)) ;
- la réduction des *délais* : la maîtrise des délais associe à de nouvelles techniques de gestion du temps de conception et de production, la simplification des processus productifs et des trajets, ainsi que la modernisation des équipements ;
- la compression des *coûts* : la réalisation de cet impératif passe notamment par la diminution des stocks et donc le refus de produire par anticipation, afin de privilégier une production à la demande ;
- la recherche d'une plus grande *adaptabilité* aux variations de la demande : conscients de l'évolution rapide des goûts des consommateurs, les entreprises se doivent de mettre en place des solutions flexibles, leur permettant de s'adapter vite et à moindre coût aux changements inévitables.

À partir des années 70, la compétitivité des entreprises japonaises en dehors de leur territoire est donc assurée par la flexibilité, la qualité des produits et des processus de production associée à la maîtrise des délais et des coûts. Les pays occidentaux, à la recherche d'un nouveau paradigme organisationnel, se laissent donc naturellement séduire par ces nouvelles règles de production. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, ils passent donc d'un système quasi artisanal à un système de production de masse, pour entrer, à partir des années 70, dans l'ère de la flexibilité et de la qualité (cf. tableau 1.1).

### 3.2 Le rôle de la coopération

Le toyotisme, en reconnaissant l'existence du facteur humain, atténue certains dysfonctionnements propres au taylorisme (grèves, absentéisme, qualité médiocre,

1. Ce modèle s'explique par la conjonction de trois facteurs essentiels : les facteurs naturels (isolement de l'île, étroitesse du pays), les facteurs culturels (conception du temps et de l'espace, grande rigueur), et les facteurs historiques (défaite du mouvement ouvrier, élimination des organisations syndicales extérieures à l'entreprise et ignorance de la dualité sociale entre travailleurs à vie et travailleurs précaires des entreprises sous-traitantes).

Tableau 1.1 : Les évolutions des principaux systèmes productifs au cours du XX<sup>e</sup> siècle

Système productif	Environnement	Caractéristiques essentielles	Facteurs de production	Objectifs
Artisanat	Faible demande (économie de pénurie) Concurrence réduite	Avant la Première-Guerre mondiale Origine plutôt européenne Production unitaire et diversifiée	Main-d'œuvre qualifiée et polyvalente Travail individuel et collectif Outils manuels et adaptables	Respect des « règles de l'art » Adaptabilité Durabilité
Production de masse	Demande stable et homogène (économie d'abondance) Intensification et internationalisation de la concurrence	De 1920 à 1975 Origine plutôt américaine (avec H. Ford) Production en grandes séries et faiblement diversifiée	Main-d'œuvre spécialisée (OS) et non qualifiée Division du travail Équipements automatisés et rigides	Respect des cadences Productivité Quantité
Production flexible	Demande instable et hétérogène Concurrence exacerbée et mondialisation des marchés	De 1975 à nos jours Origine plutôt japonaise (avec E. Toyota) Fabrication en grandes séries de produits variés	Main-d'œuvre qualifiée et polyvalente Travail individuel et collectif Équipements robotisés et flexibles (MOCN*)	Volonté de concilier : qualité, flexibilité, rapidité, productivité.

\* MOCN = Machine-outil à commande numérique.

etc.). La constitution de groupes de travail autonomes ou semi-autonomes conduit les employés à avoir des responsabilités de nature opérationnelle, mais aussi à prendre en charge l'organisation du travail. Leur travail associe donc cumulativement deux dimensions et deux niveaux de responsabilité différents :

- une dimension productive : choix des outils de travail, réglage des équipements... ;
- une dimension managériale : constitution du groupe et gestion du groupe.

Donc, ce qui caractérise la démarche toyotiste, c'est essentiellement la remise en cause de l'organisation du travail et la place accordée à la communication horizontale entre employés. Celle-ci s'oppose aux relations fondées sur des rapports de force entre individus et entre entreprises dans le modèle classique. Elle s'appuie notamment sur les opportunités offertes par les nouvelles technologies de l'information qui favorisent l'émergence de *structures collectives et intégrées* de travail *dans et entre* entreprises (systèmes d'information partagés entre partenaires industriels). L'automatisation des processus de production et le développement de la productique participent aussi à une logique de production plus flexible et plus réactive.

## REPÈRES : Du Taylorisme au FPS – Ford Production System

Depuis quelques années, aussi bien en Europe qu'aux États-Unis, l'organisation de la production est soumise à de profonds changements. La volonté d'accroître la productivité conduit de nombreuses entreprises à mettre en œuvre de nouvelles méthodes, souvent opposées à la division du travail. C'est le cas du groupe Ford, pourtant à l'origine de la production de masse, qui réorganise ses usines autour du *Ford Production System*. Après les usines américaines, le site girondin de Blanquefort a introduit le FPS, profitant de l'implantation d'une nouvelle ligne de fabrication. À l'instar du TPS (*Toyota Production System*), l'évolution radicale des mentalités et des habitudes est une condition nécessaire à la réussite de la nouvelle organisation. La fabrication par îlots remplace la traditionnelle production de masse caractérisée par une spécialisation et une standardisation poussées. Selon A. Dumas, « véritables mini-entreprises dans l'entreprise, ces groupes de travail sont composés de 6 à 12 personnes, sous l'autorité d'un animateur. Chaque îlot est organisé autour d'une zone de communication dans laquelle les membres du groupe peuvent se réunir pour discuter de l'organisation de leur journée et des objectifs de production qu'ils doivent atteindre ». Implication dans le travail, petites équipes et polyvalence ne s'opposeraient donc plus à la productivité.

Source : adapté de A. Dumas, *Le Journal de l'Automobile*, hors série : « Ford Motor Company en France », 16 mars 2001.

### 3.3 L'avènement d'un nouveau modèle ?

L'extension des relations de travail de nature horizontale à l'intérieur de la firme comme à l'extérieur pour effet de favoriser la coopération dans le travail et entre organisations. Elle permet une mise en œuvre plus aisée et plus globale des nouveaux principes de management tels que la gestion de la qualité, la réduction des délais et des stocks. La productivité augmente grâce à la rationalisation des méthodes de travail, mais aussi parce que le nombre et l'intensité des conflits diminuent dans l'entreprise et hors de l'entreprise. Mais le dépassement du taylorisme reste à relativiser car les principes de l'OST ne sont pas tous abandonnés à l'heure actuelle. Certains parlent en effet de la seconde vie du taylorisme<sup>1</sup>, ce qui se justifie notamment par :

- *la persistance de tâches d'exécution répétitives* : dans ce nouveau contexte, beaucoup d'ouvriers restent trop souvent réduits à effectuer des gestes simples et répétitifs, même si l'élargissement du travail et son enrichissement ont accentué leur degré de polyvalence. Ce sont les salariés les plus qualifiés qui bénéficient le plus d'une rupture par rapport à l'organisation traditionnelle. Dans l'ensemble, les formes d'organisation pour les ouvriers et le personnel peu qualifié restent assez semblables : une certaine dualisation des individus s'est donc établie :

1. *Le Monde*, 10 février 1998.

- *les vices de l'automatisation et de l'innovation technologique* : si l'automatisation a conduit à améliorer le niveau de qualification de certains ouvriers capables de programmer leur machine, de la réparer... pour les ouvriers peu qualifiés, l'organisation du travail reste taylorienne. Ils sont peu impliqués dans le processus de décision, et le contrôle exercé par la machine en terme de cadence de travail est même accru du fait de l'automatisation. De plus, la standardisation des tâches est rigoureuse sur le plan individuel mais aussi sur le plan collectif ; en effet, les employés doivent connaître les procédures à utiliser en cas de pannes, même lorsque ces pannes ne les concernent pas directement. Enfin, grâce aux nouvelles technologies de l'information, on note aujourd'hui une tendance grandissante des entreprises – notamment américaines – à surveiller l'activité de leur personnel. Ainsi, selon une enquête de l'AMA (American Management Association)<sup>1</sup>, « pour certains métiers, le comptage des touches tapées par l'employé permet de mesurer les performances ». Les nouvelles technologies sont ici utilisées comme un outil de mesure de la productivité et de surveillance du personnel ;
- *le diktat de la demande* : afin de répondre à une demande variée et exigeante et afin de réduire les coûts, un système de production au plus juste se met en place, le juste-à-temps (JAT) qui assure la fabrication de la quantité demandée, au moment demandé, en éliminant les stocks. Bien que le principe de base consiste à ne plus anticiper totalement la demande mais à attendre qu'elle se manifeste pour lancer la production, l'organisation du travail reste taylorienne. Pour satisfaire la demande du client dans des délais très courts, il est quasiment nécessaire, au moins dans les phases amont du cycle productif, d'anticiper la demande<sup>2</sup>. Les salariés connaissent moins de contrôle direct par la hiérarchie ou sous forme de pointage par exemple, mais la rigueur est dictée cette fois-ci par l'importance du client dans l'entreprise ;
- *le travail à la chaîne* : le toyotisme ne supprime pas le travail à la chaîne. La chaîne de montage existe toujours et les expériences visant à la remettre totalement en cause ne se sont pas avérées concluantes du point de vue de la productivité (voire notamment l'expérience de l'usine Uddevalla de Volvo en Suède visant à laisser à la charge d'un groupe de dix ouvriers l'assemblage intégral d'une voiture) ;
- *le glissement du taylorisme des cols bleus vers les cols blancs* : le taylorisme semble avoir gagné du terrain dans les activités des cols blancs où « les progrès organisationnels ont renforcé le travail répétitif, inscrit dans des processus dont les tâches sont détaillées pour être exécutées sans qualification particulière, à un rythme accéléré et contrôlé »<sup>3</sup>.

Le toyotisme apparaît donc comme une intensification du travail humain dans les nombreuses activités de l'entreprise. On peut l'analyser comme un prolongement du

1. *Les Échos*, 2 mai 2000.

2. Nous aurons l'occasion de revenir en détail sur cet élément à l'occasion de deux chapitres, lorsque nous traiterons du MRP et du JAT.

3. G. Duval, *L'Entreprise efficace à l'heure de Swatch et McDonald's*, Paris Syros, 1998.

taylorisme ou bien comme une forme évoluée de taylorisme qui insiste sur le fait que la motivation de l'ouvrier ne peut pas être uniquement financière comme l'a souligné notamment l'école des relations humaines. Mais il n'en reste pas moins que la flexibilité et l'efficacité ont un coût social élevé et que la réduction des stocks et des délais occasionne une forte augmentation du stress. Pour certains, le toyotisme est le moyen de faire rationaliser l'organisation par les acteurs eux-mêmes ; ainsi, ces derniers sont parfois pris au piège de leur propre créativité. La comparaison des modèles taylorien et toyotiste ne conduit donc pas à un complet changement de paradigme organisationnel.

L'étude de ces deux modèles à travers le temps permet d'appréhender les principes fondateurs du modèle productif actuel, ainsi que ses facteurs d'évolution. Mais cette approche concrète de l'organisation de la production serait incomplète sans l'évocation des différentes fonctions qui constituent le support de l'activité de production elle-même.

Section

**4**

## LES FONCTIONS DE LA PRODUCTION

La fonction de production est en lien direct avec l'environnement de l'entreprise, et avec toutes les autres fonctions (finance, marketing, GRH...), de telle sorte qu'elle se retrouve au cœur du processus de création de valeur. Mais la fonction de production intègre aussi à côté du service de nature opérationnelle que représente la fabrication elle-même, des services de nature plus fonctionnelle qui jouent en quelque sorte le rôle de fonction de support (*cf.* tableau 1.2).

Tableau 1.2 : Le management de la production et ses missions

<b>Services</b>	<b>Missions principales</b>	<b>Objets élaborés</b>
ÉTUDES	Conception du produit	Plans, nomenclatures
MÉTHODES	Préparation de la fabrication	Gammes
ORDONNANCEMENT	Organisation de la fabrication	Plan de production
LANCEMENT	Planification de la production	Bons de travail
PRODUCTION	Fabrication du produit	Produits, services
CONTRÔLE/QUALITÉ	Suivi de la production	Tests, échantillonnages

L'entreprise industrielle doit aujourd'hui faire la preuve de sa capacité de développement et d'innovation. En effet, sa compétitivité repose sur la maîtrise du passage de l'idée du produit à sa conception puis à sa réalisation. Plusieurs services se succèdent et se complètent<sup>1</sup> pour accomplir efficacement ce difficile exercice.

Le *bureau des études* intervient après la phase de recherche, au niveau de la phase de développement du produit. Il a pour vocation la mise au point de produits nouveaux et l'amélioration des produits existants en vue de leur production par l'entreprise<sup>1</sup>. Sa mission est de concevoir techniquement le programme de production à partir de la connaissance de l'usage auquel on destine le produit. Pour se faire, il veille au respect d'un certain nombre de contraintes telles que la taille du produit, son poids, son prix, son degré de fiabilité, sa facilité de maintenance, etc. Le bureau des études recueille ces informations dans le cahier des charges qui précise les fonctionnalités attendues du produit. Sur la base de prototype ou de maquette qu'il a testés et analysés d'un point de vue critique, il définit les moyens de production à utiliser afin de pouvoir fabriquer le produit en grande série. Il élabore les plans, les dessins ou les schémas nécessaires à la fabrication. Il a aussi en charge la définition de la nomenclature, c'est-à-dire qu'il établit la liste des pièces et des articles qui composent le produit et il les codifie.

Afin de répondre à ces différentes missions, la fonction études est divisée en deux sous-fonctions. La première est la sous-fonction conception. Dans le cadre d'une fabrication en grande série, elle est en charge de la réalisation du prototype ou de la maquette permettant d'effectuer divers essais de fonctionnement. La seconde est la sous-fonction industrialisation. Elle a pour tâche de préciser les spécifications techniques du produit. Le concepteur veillera alors à minimiser le nombre de composants entrant dans la fabrication du produit fini et s'efforcera de privilégier la standardisation de ces composants. Il tâchera aussi de limiter la variété des produits finis. En fait, c'est l'impératif de simplification que le concepteur doit s'efforcer d'atteindre au moyen notamment de la standardisation et de la flexibilité ou modularité des composants. Le concepteur s'aide aussi de l'outil informatique (CAO) afin de minimiser le temps consacré à la conception, à la représentation, à la gestion des documents, et à la standardisation.

Issu du taylorisme, le *bureau des méthodes* fait le lien entre la conception et la réalisation du produit. Il travaille à partir des plans fournis par le bureau des études. Il occupe une place importante dans l'entreprise car il prépare le travail, ce qui permet de répondre à l'impératif de productivité. Il définit – comme son nom l'indique – de façon optimale les méthodes de fabrication afin d'obtenir une minimisation des coûts et des délais. En fait, le bureau des méthodes assure essentiellement quatre fonctions (G. Javel, 1993) :

- en coordination avec le bureau des études, il choisit les moyens de production nécessaires lors de la conception de nouveaux produits. Il s'agit, dans le prolongement de la logique d'innovation de produit, d'introduire des innovations de procédés ;

1. Nous verrons d'ailleurs ultérieurement que ces services travaillent de plus en plus souvent en parallèle et de moins en moins séquentiellement.

1. G. Javel, Masson, 1993.

- il assure la préparation technique du travail, c'est-à-dire qu'il prévoit les conditions optimales d'exécution du travail ;
- il améliore les postes de travail, par exemple en simplifiant les tâches ou en procédant à des substitutions capital-travail ;
- il met à jour les données technologiques en actualisant notamment la liste des moyens de production disponibles.

Pour faire le lien avec la fabrication, le bureau des méthodes rédige un document essentiel, la gamme, qui répertorie l'ensemble des opérations élémentaires à exécuter et leur ordre de succession. L'informatique joue aussi dans cette fonction un rôle important puisqu'il permet d'assurer une gestion plus aisée des ressources et de réduire le temps d'élaboration des gammes de fabrication.

*L'ordonnancement* travaille à partir de l'enchaînement des tâches préalablement défini par le bureau des méthodes. Son rôle est de prévoir et d'affecter au moment voulu les moyens de production nécessaires à la réalisation du plan de production. Il assure donc l'adéquation entre les prévisions de commandes (la charge) et les moyens de fabrication (la capacité). Il choisit les moyens à mettre en œuvre (équipements, hommes et matières), ainsi que le lieu de production. Il détermine la date de lancement de la production et établit le calendrier prévisionnel de fabrication, après avoir calculé le temps nécessaire à la réalisation de chaque tâche. En fait, il a deux fonctions essentielles. La première, c'est l'établissement du planning de fabrication qui détermine sur un horizon plus ou moins long et découpé en périodes, la charge prévisionnelle de travail par poste de charge (par exemple, un atelier) et par période. La seconde concerne le jalonnement des fabrications, c'est-à-dire qu'il place chronologiquement, pour chaque ressource concernée, les différentes phases de travail d'une gamme de fabrication. Concrètement, pour chaque phase sont indiqués les temps de préparation du poste de travail, d'exécution de l'opération et parfois de contrôle de fabrication.

À côté – ou à l'intérieur – de la fonction ordonnancement, se trouve une fonction dont le rôle est de veiller à l'exécution du planning de production. Il s'agit de la *fonction lancement*. Pour assurer cette exécution, elle rédige les documents utilisés par les ateliers pour réaliser la production, ceci à partir du plan de production préalablement établi. L'objectif est de synchroniser la circulation des pièces et d'assurer ainsi la continuité du flux physique (G. Javel, 1993). Des bons de travail, qui renseignent les opérateurs sur le temps prévu pour l'exécution des tâches, la quantité à fabriquer, les contraintes à respecter, sont alors rédigés. De même, les documents nécessaires à la sortie des articles en stock sont aussi établis.

Le service de *contrôle de la fabrication* a aujourd'hui un rôle majeur. Il a une double mission (S. Sépari, 1995). D'une part, il veille à ce que la consommation effective de facteurs de production corresponde à ce qui a été prévu. D'autre part, il contrôle la *qualité* du processus de production et du produit réalisé. Le premier objectif répond à l'impératif de productivité et d'efficacité de la combinaison productive, impératif poursuivie à toutes les époques par les gestionnaires de la production. La dernière mission – contrôle qualité – est plus récente et revêt aujourd'hui un rôle primordial. Ce

contrôle et ce suivi qualité s'effectuent tout au long du processus de production ou bien en fin de fabrication. Comme nous le montrerons lors du chapitre consacré à la qualité, les contrôles statistiques sont loin de suffire et d'autres outils existent, plus qualitatifs, pour permettre à l'entreprise de réaliser l'objectif de « qualité totale ».

D'autres services contribuent aussi à la production que ce soit en amont ou en aval de la chaîne. C'est le cas notamment de la *fonction achat* et de la fonction maintenance... chacune contribuant à donner son caractère stratégique à la fonction de production dans son ensemble.

## **REPÈRES :** Le développement massif du *e-procurement* ou la reconnaissance du rôle stratégique de la fonction achat

Longtemps après leurs concurrents américains, les entreprises françaises prennent progressivement conscience de la dimension stratégique des achats dans le management de la production ; l'évolution des organigrammes des entreprises en témoigne. À l'image de Valéo, de plus en plus d'entreprises rattachent le service achats à la direction générale et créent des directions décentralisées pour augmenter le pouvoir de négociation des acheteurs. De même, elles mettent en place une coordination centrale avec des acheteurs responsables de familles de produits au niveau mondial. Enfin, la fonction achat tente d'éviter les achats auprès de fournisseurs non agréés.

À cette restructuration s'ajoute le rôle joué par les *nouvelles technologies*. Elles contribuent à modifier le métier d'acheteur en développant les achats sur Internet et l'utilisation des plates-formes d'achat en ligne. Les logiciels de *e-procurement* permettent de centraliser l'ensemble des achats industriels (mais aussi des achats courants). Sur le plan pratique, l'acheteur se connecte aux catalogues des fournisseurs agréés par l'entreprise et fait son choix ; après validation de ce choix par la direction des achats, la commande est directement transmise au fournisseur retenu, par fax, EDI ou éventuellement par le biais d'un extranet. Les cycles d'achat sont réduits, les documents papiers sont limités et le suivi est facilité.

Récemment, Valéo a développé un projet de *e-procurement* appelé e@SI (e-procurement at Supplier Integration) qui vise à améliorer grâce à Internet les liens entre acheteurs et fournisseurs. La création d'un catalogue électronique est complétée par des outils dits de e-négociation et de suivi des relations commerciales.

Source : *Enjeux Les Échos*, juin 2000.

De même, certaines fonctions ont un statut un peu particulier car on les retrouve à tout moment dans la chaîne de production. C'est le cas de la *logistique* qui assure la gestion des flux matériels et immatériels (informations). On attribue désormais à cette fonction un rôle intégrateur dans l'entreprise, grâce notamment au développement de systèmes d'information particulièrement performants. Ce rôle d'intégration s'étend même en dehors des frontières de l'entreprise, en incluant les fournisseurs et les clients dans le processus de production, ceci dans le cadre de la *supply chain*.

## Conclusion

Face aux évolutions économiques et technologiques, la fonction de production revêt aujourd'hui un caractère stratégique pour l'entreprise industrielle. Considérée au départ comme une simple combinaison productive relativement isolée, elle devient aujourd'hui *un processus de production intégré*. Cette évolution s'explique notamment grâce au développement de relations de type coopératif dans et entre entreprises, mais aussi grâce aux nouvelles technologies de l'information. Ce changement d'état résulte aussi d'une complexification dans ses enjeux et ses objectifs.

La production associe désormais l'objectif classique de productivité à des impératifs a priori difficilement conciliables tels que la flexibilité, la qualité et les délais. À l'image de l'entreprise qui glisse du simple statut de « boîte noire » à celui de système, la fonction de production passe d'un mode d'organisation et de gestion standardisé à un mode complexe, intégrant une double dimension sociotechnique. Au niveau de l'organisation du travail, cette évolution se concrétise par le passage progressif de l'OST et de la division du travail vers le toyotisme, mais la rupture entre les deux systèmes est toutefois à nuancer. La performance de la fonction de production relève de *l'interaction* entre les différents services qui supportent la production, tant à l'intérieur de l'entreprise qu'avec ses partenaires. Les fonctions études, méthodes, ordonnancement, ainsi que les services logistique et qualité, sont parties prenantes au processus de création de valeur de l'entreprise et interagissent avec elle.

### Thèmes de réflexion

- 1 – *En quoi la conception systémique de l'organisation productive constitue-t-elle un plus par rapport à une approche analytique ? (correction page 435)*
- 2 – *Comment la globalisation économique modifie-t-elle les objectifs classiques de la fonction de production ? (correction page 435)*
- 3 – *L'organisation taylorienne est-elle encore perçue comme une organisation efficace ?*
- 4 – *Pourquoi les stratégies coopératives constituent-elles une réponse opportune face aux contraintes actuelles des entreprises ?*
- 5 – *Commenter le point de vue de Jean Ruffat (directeur de marchFIRST) : « Au moment où nous voulons toujours dompter le capitalisme et maîtriser la globalisation, le jeu du jour pour les grandes entreprises, c'est l'aptitude à jouer les caméléons et à se reconfigurer très vite face à de nouvelles potentialités techniques, à de nouveaux rapports de force, à de nouvelles combinaisons de facteurs dans des Meccano fantastiques avec de formidables problèmes d'organisation et d'intégration [...]. Aujourd'hui, on saisit les opportunités ; on rationalise ensuite. La puissance de feu (capacité de production) a cédé la place à la précision du feu (qualité du ciblage des produits dans le marché), puis à la recherche du rendement de ce feu (utilisation optimale de l'outil de production et des capacités du business system). »*

## 2

# LA PLANIFICATION DE LA PRODUCTION

Une des préoccupations majeures de la gestion de production consiste à s'intéresser aux modes de *gestion des flux* dans l'entreprise, ainsi qu'aux techniques opérationnelles qui leur sont associées et qui permettent à l'entreprise de fournir aux clients le produit demandé dans les délais prévus. Les entreprises ne sont pas totalement libres de retenir la méthode de gestion des flux de leur choix car de nombreuses contraintes s'imposent à elles : la nature du produit, les exigences des consommateurs, les performances des équipements, les modes de distribution, la vigueur de la concurrence nationale et internationale, etc. De plus, une étude attentive montre que la recherche de l'efficacité pousse généralement les entreprises à associer plusieurs modalités, ce qui complique l'analyse et rend souvent stérile les présentations où seules les modalités extrêmes sont évoquées et mises en opposition. Bien que les modalités de gestion des flux soient nombreuses, la clarté d'exposition et le volume des informations nous imposent une présentation disjointe des deux conceptions génériques que sont les méthodes classiques et l'organisation en juste-à-temps. Cette dernière, considérée aujourd'hui comme une nouvelle philosophie, nécessite de longs développements, objets du chapitre 4, qu'il serait selon nous maladroit de mêler à la description d'une planification plus « classique » (section 1).

L'influence considérable de *l'informatique* depuis une vingtaine d'années nous conduit naturellement à évoquer certains aspects de la GPAO – Gestion de production assistée par ordinateur. L'informatique facilite les calculs, rend la construction et la mise à jour des programmes de production beaucoup plus aisées. Nous montrerons à l'aide d'un exemple, pourtant simple, tout l'intérêt de disposer de progiciels. Mais l'informatique, associée aux télécommunications, facilite aussi le *processus*

*d'intégration*, souvent indispensable à l'amélioration de la qualité, de la réactivité, et finalement de l'efficacité globale de l'entreprise. Certes, le concept de gestion intégrée n'est pas nouveau<sup>1</sup>, mais il a pris une autre dimension depuis que les Nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) se trouvent au cœur des organisations productives et logistiques, notamment sous la forme de Progiciels de gestion intégrée (PGI) et de réseaux de communication sécurisés (intranet, extranet, *MarketPlaces*). Un des premiers grands projets dans le domaine de l'intégration fut le projet CIM<sup>2</sup> du début des années 80. Il s'agissait d'automatiser les différents processus tels que la conception, la prise de commande, la fabrication, les changements de série, le contrôle, etc., puis d'intégrer ces éléments afin d'éviter les erreurs et les pertes de temps, et de favoriser la flexibilité du système productif (section 2).

Quelle que soit la modalité retenue, qu'il s'agisse de flux poussés, tirés ou tendus, l'expérience prouve qu'un des éléments essentiels pour atteindre les objectifs fixés consiste à anticiper le mieux possible les demandes des clients. Les techniques de *prévision des ventes* fournissent aux entreprises les données de base qui nourrissent les systèmes de planification (section 3).

---

Section 1	■	Gestion des flux et principes de fonctionnement d'un système MRP
Section 2	■	MRP et progiciels de gestion intégrée
Section 3	■	Estimation de la demande et prévision des besoins

---

## Section 1 GESTION DES FLUX ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME MRP

### 1 Un continuum de modalités de gestion des flux

Les deux principales méthodes d'organisation des flux dans l'entreprise sont traditionnellement appelées *flux poussés* (ou production sur stock) et *flux tirés* (ou production à la demande). Leur définition, bien qu'assez simple, peut cependant donner lieu à quelques méprises. C'est notamment le cas lorsque ces deux modalités sont employées conjointement dans l'entreprise.

---

1. On trouve déjà en 1968 l'ouvrage de Michel Crolais au titre évocateur : *Gestion intégrée, de la production et ordonnancement*, Paris, Dunod, 1968.

2. CIM : Computer Integrated Manufacturing, c'est-à-dire intégration de la production par ordinateur.

Avant de présenter ces méthodes, précisons un point important. Le choix de l'une ou de l'autre modalité, ou d'un panachage entre les deux, s'explique essentiellement par la comparaison entre le délai d'obtention du produit et le délai client. Le délai client correspond à l'attente moyenne (et normale) qu'un client représentatif accepte de subir à partir de la date de commande. Les professionnels appellent le point de pénétration de la commande dans le processus productif le *point de découplage* (ou encore la *green ligne* ; il semble que cette expression soit utilisée sur le terrain par des cadres de PSA et de Renault).

## 1.1 Production sur stock ou par anticipation totale

Dans de nombreux secteurs, les entreprises sont contraintes de fabriquer le produit avant que le client ne l'achète ou passe réellement commande. Qui accepterait aujourd'hui d'attendre plusieurs jours une boîte de haricots verts ou une ampoule de 100 watts ? La part croissante des ventes en grandes surfaces accentue d'ailleurs les exigences des clients quant à la mise à disposition immédiate des produits présentés en rayon.

Les entreprises qui fabriquent de tels biens, et elles sont nombreuses, doivent donc anticiper les achats et les commandes des clients, afin de les satisfaire le plus rapidement possible. Dans ce cas, la gestion des stocks de distribution sera privilégiée (cf. chapitre 3). Les méthodes opérationnelles visant à planifier la production des usines s'appuient presque toutes sur des systèmes MRP, dont le point de départ est la prévision de la demande.

Le terme de *flux poussés* (*push system*) est fréquemment employé pour faire référence à cette modalité de gestion des flux. Le terme « poussé » signifie que les composants, les produits intermédiaires et les produits finis sont poussés dans le stock, suite à un ordre de fabrication, décidé sur la base de prévisions chiffrées, et non parce qu'il existe un besoin effectif et identifié. Un ordre de fabrication interviendra donc généralement bien avant que le stock de marchandises soit épuisé. Le risque d'une telle organisation réside dans le fait que les clients peuvent se détourner des produits alors que ceux-ci sont déjà fabriqués. Il appartient donc à l'entreprise d'être particulièrement vigilante quant aux retournements de tendance.

La figure 2.1 illustre la position extrême d'un délai client nul : toutes les activités de production et de logistique doivent donc être réalisées avant que le client ne se manifeste, sous peine de le perdre au profit de concurrents mieux organisés.

## 1.2 Production à la commande

Le cas précédent, bien que très fréquent, n'est cependant pas l'unique modalité de gestion des flux. En effet, dans certaines situations et pour certains produits, le lancement de la fabrication intervient uniquement lorsque la commande est ferme, et pas avant. Cela suppose des délais parfois très longs, mais connus et acceptés par le

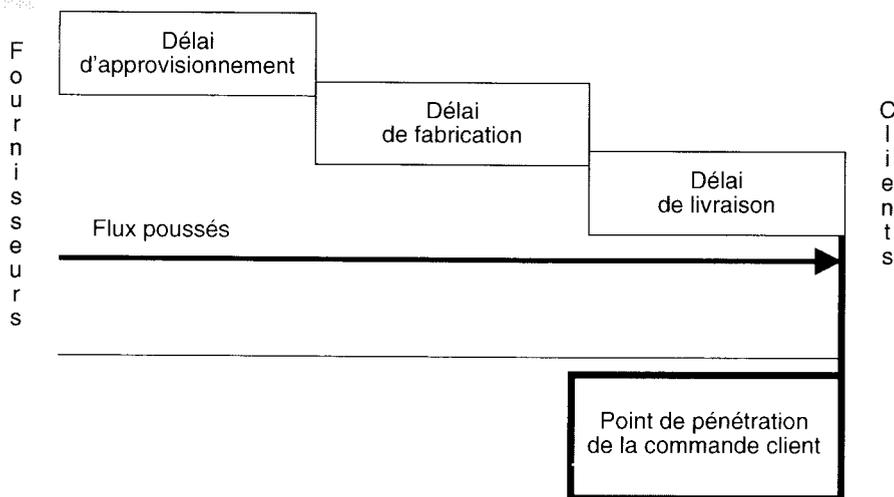


Figure 2.1 : La production sur stock

client. Le producteur, tout en minimisant les risques, peut ainsi proposer des produits spécifiques, adaptés aux besoins des clients, et susceptibles d'évoluer.

On parle alors de production à la commande (BTO : Build-To-Order). Elle est fréquente lorsque les produits concernés sont spécifiques, complexes, ou rigoureusement définis par un cahier des charges. La gestion en *flux tirés* (*pull system*) désigne cette stratégie. C'est le client final qui, le premier, déclenche le flux en exprimant une commande ferme ; c'est donc cette dernière qui tire le flux dans toute l'entreprise, de postes aval en postes amont. En toute rigueur (et en théorie), ce ne sont plus les prévisions de ventes qui déclenchent la fabrication. Nous reviendrons bientôt sur ce point.

Il s'agit du cas extrême où le délai du client est suffisamment long pour permettre à l'entreprise à la fois de s'approvisionner, de fabriquer et de livrer.

### 1.3 Production par anticipation partielle

Les deux modalités précédentes correspondent en réalité aux deux extrémités d'un continuum sur lequel l'entreprise va se placer en fonction d'un certain nombre de critères tels que la technologie, la nature des produits, les attentes des clients, etc. On parle dans ce cas de *production par anticipation partielle*. Cela consiste à associer les deux modes de gestion précédents :

- les premières opérations du cycle productif sont par exemple réalisées sans attendre la commande du client, mais sur des bases statistiques (prévisions des ventes) ;
- les dernières opérations du cycle productif, souvent l'assemblage, ne sont lancées qu'après le passage effectif de la commande.

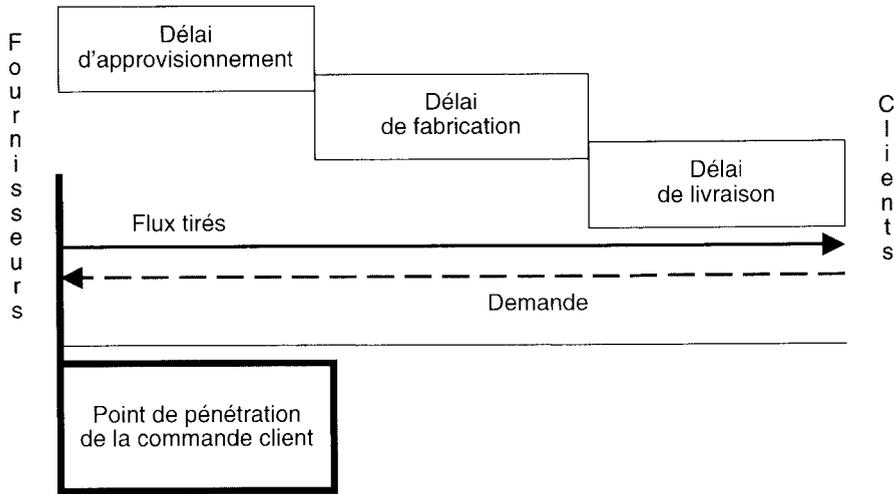


Figure 2.2 : La production à la demande

Cette situation intermédiaire possède un atout majeur : elle bénéficie des avantages de la production sur stock (délai de livraison plus court) et de ceux de la production à la commande (accroissement de la variété des produits finis). La notion de *différenciation retardée* illustre le cas de la production par anticipation partielle et trouve de nombreuses applications dans l'industrie et les services. On peut citer les cas bien connus de :

- la restauration rapide, où une partie de la production est réalisée par anticipation et l'autre partie est réalisée à la commande, essentiellement par la cuisson et l'assemblage de « composants » déjà prêts ;
- l'industrie automobile, qui différencie le produit de base après la commande ferme d'un client (nous aurons bientôt l'occasion de nuancer cette affirmation).

On peut imaginer que si la commande entre dans l'entreprise au moment où la « fabrication » se termine, on puisse effectuer l'assemblage en tenant compte des spécifications ultimes du client. Cela s'appelle aujourd'hui : *Assembly-To-Order* (ATO).

Pour rester compétitives, les entreprises sont conscientes qu'elles doivent mettre en œuvre une stratégie de personnalisation (donc produire à la demande) pour un nombre élevé de consommateurs. La *Mass Customization*, ou personnalisation de masse, consiste à accroître la variété du produit fini créatrice de valeur ajoutée, tout en réduisant la variété au niveau des composants.

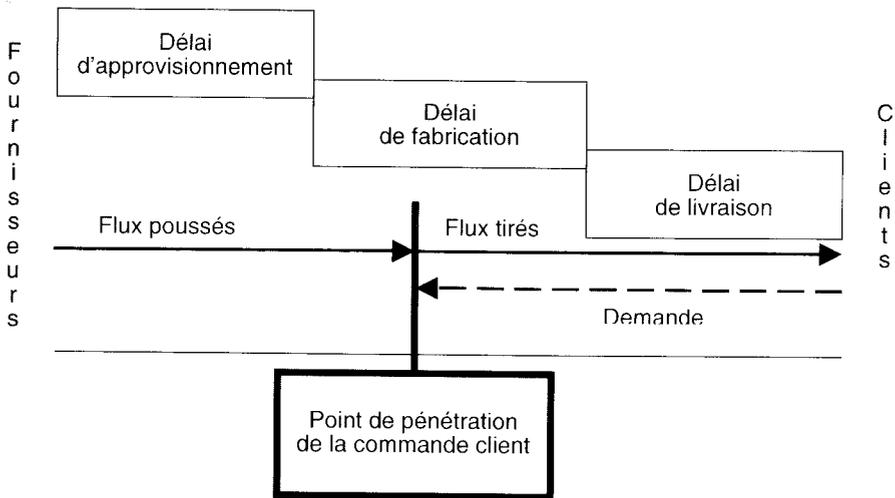


Figure 2.3 : La production par anticipation partielle

## REPÈRES : Le logiciel *Agile Manufacturing* d'ORACLE

Dans la réalité, les modalités de gestion des flux sont encore plus nombreuses que ne le suggère la présentation précédente. La célèbre société de progiciels, ORACLE, propose un large éventail de méthodes de gestion des flux : « *Agile Manufacturing permet de combiner tous les procédés simultanément, vous laissant le loisir d'utiliser le procédé le plus rentable pour fabriquer chacun de vos produits.* » Les procédés sont :

- Flow Manufacturing, production en flux tendus qui s'appuie sur quelques éléments de base :
  - des lignes d'assemblage dédiées destinées à la fabrication d'une famille de produits (ces derniers présentant des caractéristiques similaires) ;
  - des lignes d'assemblage équilibrées garantissant une utilisation optimale des ressources et un flux de matière uniforme tout au long du processus de production ;
  - une production au plus juste.
- Discrete Manufacturing, production d'articles complexes, avec surveillance constante de la qualité et du coût de revient.
- Assemble-To-Order Manufacturing (ATO), le client réalise la configuration des produits plus ou moins complexes qu'il achète. Il peut même le faire sur Internet. Une fois que le client a choisi la liste des matériels nécessaires, le programme crée un ordre de fabrication et la mise en production est lancée. Il s'agit de l'équivalent du BTO évoqué plus haut.

- Repetitive Manufacturing, environnement de production en série et produits peu différenciés.
- Process Manufacturing, solution intégrée qui englobe la gestion des laboratoires, la planification opérationnelle, la fabrication et la logistique. Ce module gère aussi la conformité avec la réglementation et l'établissement des documents définissant la généalogie des lots exigée par la Food and Drug Administration (traçabilité).

Source : [http : //oracle.com](http://oracle.com)

## 2 Vers une fabrication de masse personnalisée ?

Face aux exigences des consommateurs et à l'exacerbation de la concurrence, un nombre croissant d'entreprises doit offrir une gamme de produits différenciés et variés, au prix le plus juste. La *variété* correspond ainsi au nombre maximal de déclinaisons qu'un produit fini peut connaître. Les exemples de secteurs à forte variété sont l'automobile, l'informatique et l'électroménager.

Le problème consiste donc à déterminer les méthodes de gestion et de fabrication qui permettent de concilier la *standardisation* des composants et des produits (pour bénéficier d'économies d'échelle et éviter les stocks pléthoriques) et la nécessaire *diversité* des produits finis (afin d'être compétitif sur le plan commercial). Finalement, l'objectif des entreprises est d'obtenir les avantages de la diversité sans subir ses inconvénients.

Selon Anderson et Pine, la *diversité* des produits en production<sup>1</sup> peut s'obtenir de plusieurs façons :

- par la *personnalisation* du produit par l'utilisateur : c'est le client qui est l'initiateur de la variété. Par exemple, on laisse à l'acquéreur d'un téléphone-répondeur-fax la possibilité de laisser une annonce préenregistrée ou de la créer lui-même, la possibilité d'activer ou non son répondeur, de choisir la page de garde du fax, etc. ;
- par l'*autoadaptation* du produit en fonction de l'utilisation : l'objectif consiste à rendre le produit le plus « intelligent » possible, à l'aide de capteurs, de régulateurs et de microprocesseurs. On peut citer le cas de certains grille-pains qui déterminent l'intensité de la chaleur selon l'épaisseur et à la taille des tranches, ou les essuie-glaces de certains véhicules dont la vitesse s'adapte à l'intensité de la pluie ;
- par la *personnalisation* du produit par le producteur ; elle peut prendre plusieurs formes principales<sup>2</sup> :

1. D. Anderson et J. Pine, *Agile Product Development for Mass Customization : How to Develop and Deliver Products for Mass Customization, Niche Markets, JIT, Build-to-Order and Flexible Manufacturing ?* MacGraw-Hill, 1997.

2. V. Giard : *Analyse économique de la standardisation des produits*, Cahiers de Recherche du GREGOR, n° 13, IAE de Paris, Université Paris 1, 1999.

- la *conception modulaire* : la diversité sera obtenue grâce à l'association de modules ; chaque module offre des caractéristiques spécifiques et peut être choisi parmi un nombre de modules interchangeables ;
- l'*utilisation de composants adaptables*, soit de façon définitive, souvent réalisée par un traitement physique (une fois que les verres optiques sont taillés pour une certaine monture, ils ne pourront être que très rarement réutilisés), soit de façon temporaire lorsqu'il est possible de revenir sur les fonctionnalités du composant par une manipulation dite logique (reparamétrage de progiciels).

## REPÈRES : Configurer sa Smart sur Internet

Sur le site Internet de Smart, les clients peuvent définir exactement le modèle désiré et passer directement commande. Dans un premier temps, il suffit de cliquer sur l'icône *Car Configurator* pour visualiser toutes les configurations possibles du véhicule. Le site propose les thèmes suivants :

- 1 – Carrosseries (2 choix) : city-coupé ou cabrio,
- 2 – Lignes (3 choix) : pure, pulse ou passion,
- 3 – Moteurs (4 choix) : 33, 40 ou 45 kW essence, plus le 30 kW Cdi,
- 4 – Peinture extérieure : 8 coloris,
- 5 – Tridion (partie arrière de la carrosserie) : 2 possibilités, noir ou argenté,
- 6 – Couleurs intérieures : 6 coloris.

Sans restriction, cela correspond à 2 304 configurations possibles. Précisons que certaines couleurs ne sont pas disponibles sur certaines lignes, ce qui réduit un peu cette valeur ; mais l'ajout de différentes options non précisées ici compense cette réduction. Finalement, c'est environ 3 000 configurations de la Smart que le fabricant offre à ses clients. Dans la profession, il s'agit d'ailleurs d'une valeur relativement faible puisque de nombreux constructeurs classiques proposent souvent plus de 20 000 configurations possibles pour un modèle.

Source : [http : //smart.com](http://smart.com)

Il existe *deux types de diversité* en production. D'une part, on trouve la diversité qui est visible par le client et qui doit être source de valeur ajoutée ; pour certains accessoires secondaires, la multiplication à l'infini des versions est sans valeur ajoutée et doit être limitée. D'autre part, il y a aussi la diversité qui n'est pas visible et dont l'entreprise doit limiter le coût. Elle concerne les composants et les fournitures entrant dans la fabrication des produits finis. Par exemple, certains secteurs industriels ont préféré remplacer les vis par des rivets, puis les rivets par des colles, notamment afin d'éviter de multiplier les types de fournitures spécifiques, difficiles à gérer et représentant des coûts presque « cachés » non négligeables.

Le concept de *commonalité* entre dans ce cadre de réflexion. Il peut être intéressant de remplacer deux composants aux profils similaires par un composant unique,

capable de réaliser la totalité des fonctions assurées préalablement par le composant le plus complet. Évidemment, cette substitution n'est économiquement valable que si les avantages financiers qui en résultent sont supérieurs aux coûts, c'est-à-dire font plus que compenser l'augmentation du prix de revient du produit fini provoquée par l'utilisation du composant le plus complet (donc le plus coûteux). Il est possible de repérer au moins trois avantages de la commonalité :

- moindre complexité du processus productif, dans la mesure où la réduction du nombre de composants rend un peu plus transparents les nomenclatures et les processus de fabrication ;
- diminution fréquente (mais pas systématique) des coûts de stockage et/ou des coûts de lancement en fabrication ;
- possibilités d'obtenir des économies d'échelle interne (à la fabrication, lors du lancement des lots) ou externe auprès de fournisseurs qui accorderont d'autant plus facilement des remises que les quantités achetées seront importantes.

Commonalité, différenciation retardée ou modularité, sont donc des méthodes qui permettent de réconcilier, dans une certaine mesure, la production à la commande avec la production sur stock. Plus les processus sont gérés de façon efficace, plus l'entreprise peut faire tendre le délai d'obtention du produit fini vers le délai client. Ainsi, l'entreprise pourra produire à la commande, mieux satisfaire le client, tout en proposant des délais particulièrement courts. Nous compléterons cette réflexion lors du chapitre consacré à la logistique, en montrant notamment que la gestion efficace des processus et la satisfaction des clients passent par la maîtrise de la chaîne logistique tout entière.

### 3 Historique et principes de base d'un système MRP

Malgré l'importance de la production à la demande pure, il existe de nombreux secteurs où la planification de la fabrication s'appuie presque uniquement sur les prévisions, notamment parce que le client n'est pas disposé à attendre. Il existe aussi des secteurs où une part non négligeable des processus productifs en amont fonctionne à partir des prévisions, même si les dernières étapes de la fabrication et/ou de l'assemblage sont réalisées à la demande. Dans ces deux cas, les techniques classiques de planification sont incontournables. Dans les paragraphes qui suivent, nous allons nous intéresser à la plus célèbre d'entre elles, le MRP.

#### 3.1 Petit historique du MRP

On a l'habitude de distinguer trois étapes dans la planification des besoins. Dans un premier temps le système offrait simplement une *méthode de réapprovisionnement* de la production. Le Material Requirement Planning (ou PBC pour planification des besoins en composant) permettait de connaître les quantités de chaque pièce à approvisionner et les dates associées en fonction de la définition du produit et des gammes

opérateurs. Il s'agissait de ce que l'on appelle aujourd'hui une méthode à capacité infinie : « on faisait comme si » les usines pouvaient fabriquer toutes les commandes des clients. Mais comme dans la réalité, les capacités n'étaient pas infinies il fallut très vite améliorer le système pour tenir compte des limites de chaque équipement, ainsi que des limites humaines. Le MRP a donc changé de nom pour s'appeler le Manufacturing Resource Planning et devient le MRP-1 (ou planification des ressources productives ou Management des ressources de production)<sup>1</sup>. Il correspond à un système permettant d'assurer la *régulation* de la production. La troisième étape est un élargissement de la précédente à toutes les ressources de l'entreprise, et non uniquement limitées aux ressources productives. Le MRP-1 devient le MRP-2 et prend en considération toutes les *questions financières* posées par la production dans le cadre d'un système global et intégré (mise en relation des services financiers, commerciaux, et productifs). Il est fait pour fonctionner dans le court terme, mais il est construit à partir d'éléments de moyen-long terme.

Aujourd'hui, nous serions tentés d'ajouter une quatrième phase à l'évolution du MRP, puisqu'il est de plus en plus question, dans une conception intégrée de la production, de lui associer la DRP<sup>2</sup>. La Distribution Resource Planning, c'est-à-dire la planification des besoins de distribution, vise notamment à améliorer l'efficacité du MRP et l'efficacité des circuits de distribution complexes (nombreux distributeurs et nombreux points de vente, gérés ou non directement par le producteur). Cet élément sera abordé dans un cadre plus vaste à l'occasion du chapitre traitant de la logistique.

Le MRP-1 a été conçu au début des années 60 par J. Orlicky puis rendu opérationnel quelques années plus tard par Orlicky lui-même et deux spécialistes de la gestion de production, Plossl et Wight. Il semblerait que le MRP-2 ait été présenté par Wight<sup>3</sup>. Aujourd'hui, seul le MRP-2 subsiste en tant que méthode de planification globale et intégrée. Ainsi, à l'avenir, lorsque nous parlerons du MRP, il s'agira du MRP-2 (sauf précision contraire).

### 3.2 Le fonctionnement global d'un système MRP

Le raisonnement initial de J. Orlicky consiste à distinguer les *besoins indépendants* des *besoins dépendants*. Les premiers émanent des clients de l'entreprise, et, à ce titre, ne peuvent être qu'estimés ; ils sont parfois appelés besoins externes. En

---

1. Certains auteurs considèrent que le MRP-1 correspond à la démarche en capacités infinies et que le MRP-2 constitue une deuxième étape où les capacités seront prises en compte (capacités finies). Dans cette optique, l'attention portée aux ressources financières devient un perfectionnement du MRP-2.

2. A. Martin, *Distribution Resource Planning*, Prentice-Hall, 1983.

3. Les principales références sont donc : J. Orlicky, *Material Requirement Planning : the New Way of Life in Production and Inventory Management*, Mc Graw-Hill, 1975 ; G. Plossl et O. Wight, *Production and Inventory Control : principles and techniques*, Prentice Hall, 1967 ; O. Wight, *Réussir sa gestion industrielle par la méthode MRP-2*, Usine Nouvelle, 1987.

revanche, les besoins dépendants doivent être calculés sur la base des prévisions précédentes ; ils sont souvent appelés besoins induits. Précisons cependant que certains composants peuvent aussi être demandés au titre de pièces de rechange comme des produits finis. Pour ces composants, des besoins indépendants s'ajoutent alors aux besoins dépendants.

Parce qu'il ne peut pas la connaître avec certitude, un constructeur automobile estimera sa demande future. Une fois cette estimation réalisée, c'est elle qui servira à calculer le nombre de pneus qu'il faut commander, ou le nombre de boîtes de vitesse qu'il faut fabriquer (dans des proportions fixes et généralement invariables).

Grossièrement, cette méthode permet notamment de déterminer<sup>1</sup>, à partir des besoins estimés des clients :

- les quantités exactes de tous les composants à fabriquer afin d'obtenir les produits finis (appelés ordres de fabrication, ou OF),
- les quantités exactes de tous les composants à commander auprès des fournisseurs (appelés ordres d'achat, ou OA),
- et les plans de charge des ateliers de fabrication.

Mais avant d'étudier la façon dont on obtient ces informations, deux étapes sont indispensables. Il s'agit de la construction du plan industriel et commercial (PIC) et du plan directeur de production (PDP ou MPS pour Master Production Schedule).

### ► **Le PIC offre une vision globale de l'activité commerciale et productive**

Le PIC, appelé parfois plan de production<sup>2</sup>, est la traduction chiffrée de la stratégie globale de l'entreprise à moyen terme. Le PIC est l'élément de base de la planification des ressources. Toute entreprise a besoin d'un minimum de connaissances sur le niveau de son activité future afin de décider de la nature et du montant des investissements à réaliser, des effectifs complémentaires à embaucher, des crédits à solliciter auprès des banques, etc. L'entreprise va donc commencer par prévoir la demande future. Comme ce travail de prévision peut s'avérer complexe dès que la production est diversifiée ou différenciée, le PIC est le plus souvent réalisé par *familles de produits*. C'est généralement suffisant pour connaître l'activité globale d'une usine. Par exemple, les prévisions de vente de vêtements peuvent être réalisées par modèle, sans tenir compte des différentes tailles, couleurs, ou types d'encolure. Ce n'est que dans une étape ultérieure que les tailles, les couleurs et autres caractéristiques seront réintégrées.

Le PIC est habituellement réalisé par la direction générale et financière de l'entreprise en étroite collaboration avec les directions du marketing, de la production et

1. Sur le plan technique, un ouvrage très complet présente les méthodes : T. Vollmann, W. Berry et D. Whybark, *Manufacturing Planning and Control System*, Mc Graw-Hill, 1997 (4<sup>e</sup> édition).

2. Il est préférable d'utiliser le terme PIC plutôt que le terme Plan de production ; cela permet d'éviter les confusions entre plan de production et PDP. De plus, dans les grandes entreprises, on trouve aussi un plan stratégique, qui chapote le PIC et fournit les orientations stratégiques de long terme.

des achats. Il est *annuel ou semestriel*, et périodiquement révisé afin d'intégrer les dernières informations disponibles ; dans ce cas, on parle de « plan glissant ». L'objectif de l'entreprise consiste à évaluer les besoins financiers, en équipements, en ressources humaines et en composants, nécessaires à la réalisation des prévisions, dans le but de repérer et de corriger le plus tôt possible les grands déséquilibres entre les charges et les capacités.

Dans la majorité des entreprises, les PIC sont construits à l'aide de logiciels qui centralisent les informations commerciales, prennent en considération les objectifs stratégiques et utilisent un certain nombre de modèles prévisionnels.

► ***Le PDP offre une vision précise de l'activité productive à court terme***

Le PDP constitue le premier niveau de désagrégation du PIC. Il définit avec précision l'*échancier* des quantités à fabriquer. Comme le PIC est d'un niveau d'agrégation assez élevé, il ne permettra pas concrètement d'établir les programmes de fabrication ; il faut donc disposer d'un plan de production *détaillé* qui précisera, *référence par référence*, ce qu'il faut produire, *période par période* (généralement la semaine).

Le PDP est construit soit à l'aide de prévisions détaillées, article par article, soit par répartition des quantités trouvées dans le PIC suivant des pourcentages préétablis, selon les segments de marché et/ou les lieux de vente, et/ou les périodes de l'année, etc. Soit encore par un panachage de ces deux méthodes.

Le PDP est donc le premier tableau sur lequel s'appuie le calcul des besoins. Les chiffres du PDP représentent les besoins bruts. Sur cette base, le cœur du MRP va consister à déterminer les besoins nets. Le PDP est composé de deux zones :

- l'une est dite *ferme*, ou parfois *gelée*, à l'intérieur de laquelle les valeurs ne sont pas modifiables, sauf intervention directe du gestionnaire de la production. L'objectif consiste à éviter que les mises à jour périodiques du PDP (plan glissant), nécessaires au bon fonctionnement du système, ne bouleversent à chaque fois la totalité des programmes, créant ainsi une forte instabilité au niveau des ateliers.
- l'autre zone est dite *libre* : en s'éloignant de la période actuelle, les valeurs sont de moins en moins sûres et peuvent être remises en cause sans perturber la production.

À titre d'illustration, le tableau 2.1 présente le PDP d'un produit fini quelconque, fabriqué par *lots de 100* unités et dont le *délai d'obtention* est de 2 semaines.

Les ventes prévues et les commandes fermes correspondent à ce que l'on appelle les besoins bruts. Comme on le comprend facilement à la vue de ce tableau, les ordres de fabrication (OF) ne correspondent pas aux besoins bruts. La taille imposée des lots de fabrication, l'existence de stocks et parfois même, l'obligation de disposer d'un stock de sécurité, ainsi que d'éventuelles livraisons, conduisent à déterminer des OF spécifiques à des dates bien précises. En début de semaine 16, la quantité en stock

Tableau 2.1 : Le plan directeur de production

PDP Produit X	Zone ferme					Zone libre			
	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Semaines									
Ventes prévues		0	0	10	30	30	50	40	60
Commandes fermes		60	40	40	30	10			
Livraisons attendues (en début de semaine)		100			100		100		100
Stock (en fin de semaine)	80	120	80	30	70	30	80	40	80
Besoins Nets					30		20		20
Ordres de fabrication : - ordres fermes - ordres suggérés			100			100	100		
DAV (en début de sem.)		40			60		100		100

(30) ne permettra pas de faire face aux besoins bruts (30 + 30 = 60) ; des besoins nets apparaissent (60 – 30 = 30) provoquant un OF ferme deux semaines avant, livrable en début de semaine 16. Le stock final tient compte du stock initial, des quantités livrées et des besoins bruts (30 + 100 – 60 = 70).

Le PDP est souvent complété par une ligne supplémentaire, appelée *disponible à vendre* ou DAV. Il correspond au nombre maximum de produits qui peut être promis à un client sans impliquer une révision du PDP. Cela permet donc de transformer des ventes prévues et/ou non prévues en commandes fermes, sans remettre en cause l'échéancier programmé des OF. Le DAV est calculé en début de période, et à chaque fois qu'un OF est mis en stock.

En début de semaine 13, le disponible à vendre s'obtient en réduisant du stock initial (auquel s'ajoute une livraison attendue) le montant des commandes fermes jusqu'à la prochaine livraison, commandes sur lesquelles l'entreprise ne peut revenir :

$$DAV = 80 + 100 - (60 + 40 + 40) = 40$$

Effectivement, du début de la semaine 13 jusqu'à la fin de la semaine 15, il est possible d'accepter de nouvelles commandes fermes, jusqu'à concurrence de 40 produits, sans ajouter d'OF supplémentaire. Il est logique que le DAV soit dans ce cas égal à la somme des ventes prévues (0 + 0 + 10) et du stock final (30).

En début de semaine 16, un OF de 100 entre en stock. Dans la mesure où le stock final (30) a pu être transformé en commandes fermes lors des périodes précédentes, le DAV ne prendra en compte que les ressources certaines (arrivée de 100 unités), desquelles il faudra déduire les commandes certaines de la période :

$$DAV = 100 - (30 + 10) = 60$$

Certains progiciels proposent d'ailleurs une application ATP (Available-To-Promise) afin d'offrir une solution intégrée, qui puisse satisfaire à la fois les services commerciaux et productifs. Les distributeurs connaissent les disponibilités effectives des produits, en intégrant toutes les contraintes de la *supply chain* (niveau des stocks, planning des OF, délais d'obtention, etc.). Ils peuvent ainsi faire de vraies promesses aux clients. Lorsque le DAV est insuffisant pour faire face à la demande, le refus ou le report de certaines commandes est généralement préférable à une stratégie consistant à promettre mais à ne pas tenir ses engagements !

## 4 Explosion de la nomenclature et jalonnement réalisable des OF

C'est à partir du PDP de chaque produit fini qu'il sera possible de procéder à l'éclatement de la nomenclature et aux calculs des besoins nets pour tous les composants. Les prévisions de la demande et l'élaboration du PDP sont les éléments de base du MRP. Rappelons que sa vocation est d'assurer une *planification réalisable* de la production, en vue de satisfaire les clients, tant sur le plan des quantités que des délais (l'exigence de qualité étant sous-entendue).

Dans un souci de clarté, nous présenterons le MRP selon les deux étapes classiques, à l'instar de ce que les progiciels intégrés de GPAO proposent :

- dans un premier temps, nous ferons « comme si » tous les ordres de fabrication pouvaient être réalisés ; de fait, le premier groupe de modules des progiciels gère la procédure d'explosion de la nomenclature en *capacité infinie*<sup>1</sup> ;
- dans un second temps, nous réintégrerons dans le raisonnement les capacités, forcément limitées, des ressources utilisées pour produire ; le second groupe de modules gère l'ordonnancement et l'optimisation à *capacité finie*.

### 4.1 Explosion de la nomenclature en capacité infinie

Comme nous l'avons montré, le PDP fournit uniquement au responsable de la production, l'échéancier des ordres de fabrication du produit fini. Les ateliers ne peuvent pas se contenter de cette planification globale pour organiser leur travail de façon optimale. C'est pourquoi il est nécessaire de déterminer le planning des ordres de fabrication pour chaque composant du produit fini. Or, nous savons qu'entre le produit fini et ses composants, ne peuvent exister que des besoins dépendants. La nomenclature en apporte une description quantitative et qualitative.

---

1. Précisons un point important : lorsqu'un composant est employé dans plusieurs produits finis, les besoins bruts de ce composant émanant des besoins nets de chaque produit fini devront être cumulés.

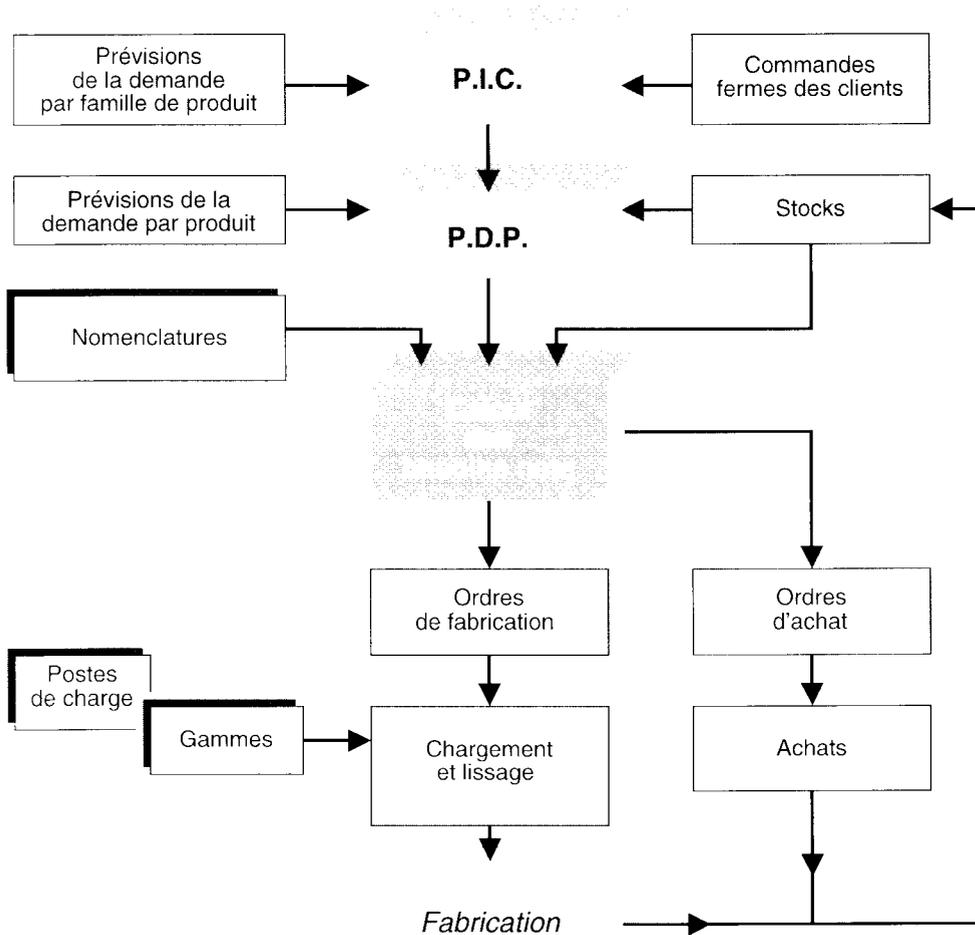


Figure 2.4 : Architecture générale d'un système MRP

► **Les différentes nomenclatures utilisées dans l'industrie**

Une *nomenclature* est une énumération, ordonnée selon plusieurs niveaux, des différents composants qui entrent dans la fabrication d'un produit. Un coefficient indique le nombre de composants nécessaires à l'obtention du produit parent (ou « composé »). Généralement, le niveau 0 de la nomenclature est associé au produit fini. Il existe de multiples représentations possibles, mais les trois suivantes sont les plus utilisées.

Considérons une entreprise qui fabrique et commercialise quatre produits finis notés W, X, Y et Z, à l'aide de modules ( $M_i$ ), de sous-modules ( $SM_i$ ), de pièces ( $P_i$ ) et de matières premières ( $MP_i$ ).

• *Nomenclature arborescente ou multi-niveaux*

Il s'agit d'une représentation particulièrement visuelle, permettant une compréhension aisée et rapide de la configuration du produit par les utilisateurs. Lorsque le produit est trop complexe, ou utilise des modules identiques, il est recommandé de fractionner la nomenclature arborescente principale en autant de nomenclatures arborescentes secondaires qu'il est possible<sup>1</sup>. Les niveaux de la nomenclature sont indiqués à gauche, dans la bande verticale assombrie.

Pour des raisons de place, nous ne donnons qu'une *version incomplète* de la nomenclature du produit W (cf. figure 2.5). Comme nous le précisons plus haut, il aurait été possible de décomposer cette nomenclature.

Niveaux

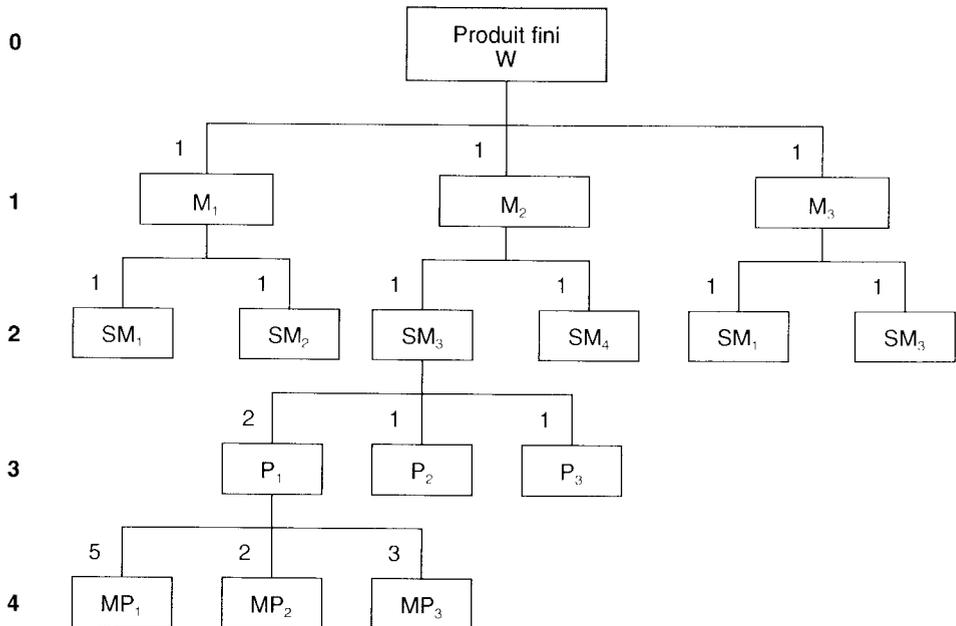


Figure 2.5 : Nomenclature arborescente

1. Lorsque l'on construit une nomenclature, il est essentiel de respecter la *règle du plus bas niveau*. Cela signifie que chaque composant sera placé au plus bas niveau possible. Étant donné que le calcul des besoins nets, qui est au cœur de la méthode MRP, est effectué niveau par niveau, il est nécessaire de regrouper tous les composants identiques à un même niveau, si l'on souhaite simplifier les procédures de calcul.

• *Nomenclature indentée*

Elle décrit les composants du produit fini en liste (cf. figure 2.6). Elle utilise souvent une codification de type lettres + chiffres et indique pour chaque composant le coefficient d'emploi. Ce type de nomenclature est généralement utilisé par les logiciels de GPAO.

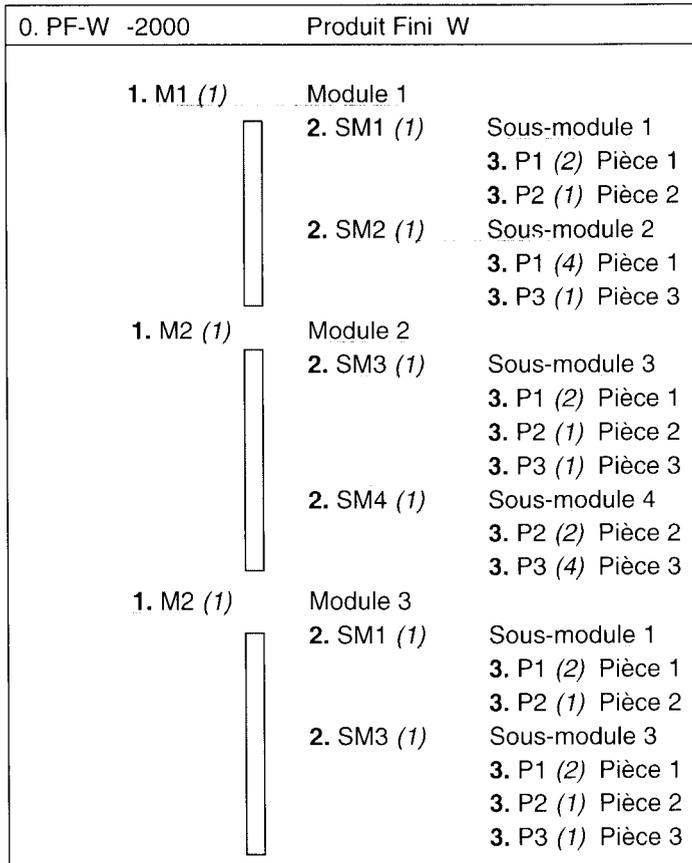


Figure 2.6 : Nomenclature indentée

• *Nomenclature matricielle*

Elle se compose de plusieurs tableaux (ou matrices) qui s'enchaînent et qui indiquent, niveau par niveau, les composants nécessaires à l'élaboration de l'article immédiatement parent. Les tableaux suivants fournissent les coefficients entre les composants, placés en lignes, et articles parents placés en colonnes. Les tableaux suivants fournissent la nomenclature complète de chaque produit W, X, Y et Z.

## Assemblage final – Nomenclature niveau 0/1

	W	X	Y	Z
M <sub>1</sub>	1	1	0	1
M <sub>2</sub>	1	0	1	1
M <sub>3</sub>	1	1	1	0

## Assemblage intermédiaire – Nomenclature niveau 1/2

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
SM <sub>1</sub>	1	0	1
SM <sub>2</sub>	1	0	0
SM <sub>3</sub>	0	1	1
SM <sub>4</sub>	0	1	0

## Usinage et assemblage des pièces – Nomenclature niveau 2/3

	SM <sub>1</sub>	SM <sub>2</sub>	SM <sub>3</sub>	SM <sub>4</sub>
P <sub>1</sub>	2	4	2	0
P <sub>2</sub>	1	0	1	2
P <sub>3</sub>	0*	1	1	4

\* l'astérisque n'est utilisée que dans la correction de l'exercice n°4 de ce chapitre.

## Usinage des matières premières – Nomenclature niveau 3/4

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
MP <sub>1</sub>	5	2	5
MP <sub>2</sub>	2	4	2
MP <sub>3</sub>	3*	8	4

► *Autres types de nomenclatures utilisées*

Bien que les trois nomenclatures précédentes soient les plus utilisées, il peut être utile de connaître les termes suivants :

- nomenclature dite « à plat », « mère » ou « en râteau » : il s'agit d'une liste non ordonnée des composants du produit fini, surtout utilisée en bureaux d'études ;

- nomenclature dite « fonctionnelle » : elle est établie par les concepteurs du produit, selon une démarche d'analyse de la valeur, où chaque fonction du produit sera étudiée ;
- nomenclature dite « de fabrication » : il s'agit d'une représentation simplifiée des différentes étapes de la fabrication, sur laquelle apparaissent les différents composants et la chronologie de la fabrication ;
- nomenclature inversée, ou *cas d'emploi* : elle permet de connaître de façon ordonnée, tous les composés qui emploient un composant donné.

Dans un souci d'intégration, de simplification et de diminution du nombre de documents de gestion, il est de plus en plus fréquent de ne retenir qu'une seule représentation, souvent appelée « la nomenclature de gestion de production ». La plupart des progiciels de gestion intégrée (PGI) ne disposent souvent que d'un seul type de nomenclature possible. Saisie une fois pour toutes, elle sera utilisée dans les services fonctionnels, productifs et commerciaux.

### ► **Détermination des besoins nets et du planning des OF (ou OA)**

Après avoir indiqué la procédure dite d'explosion de la nomenclature, qui permet de déterminer les échéanciers des besoins nets et des OF pour chaque composant, nous poursuivrons l'exemple précédent afin d'illustrer le MRP de façon simple. Une illustration plus complexe sera proposée dans la section suivante.

#### • *Le principe de base*

Le principe central du MRP consiste en une procédure dite *d'éclatement* ou *d'explosion du PDP* à travers la nomenclature du produit fini. Nous savons que le PDP fournit *l'échéancier des quantités à fabriquer*<sup>1</sup> (planning des OF) pour le produit fini. Il faut maintenant déterminer, pour chaque composant du produit fini, l'échéancier des ordres de fabrication. La figure 2.7 résume les explications qui vont suivre.

Les informations fournies par la nomenclature permettent de déterminer, à partir du planning des OF du produit fini, les besoins bruts de chaque composant. Si l'entreprise a un OF de 60, le 14 décembre, pour un produit fini PF réalisé par l'assemblage d'un composant A, de deux composants B et de cinq composants C, alors : le besoin brut à la date du 14/12 pour le composant A sera de 60, pour le composant B de 120 et pour le composant C de 300.

En retranchant des besoins bruts les stocks et les en-cours, et éventuellement en y ajoutant les besoins en pièces détachées (traités comme des besoins indépendants), on obtient les besoins nets. Par exemple, si le 13/12 au soir, il reste un stock de

1. L'habitude veut que l'on dise « à fabriquer », mais il peut s'agir d'assemblages, ou encore d'achats (pour des niveaux inférieurs de la nomenclature). Les termes « à fabriquer » et OF sont des termes génériques.

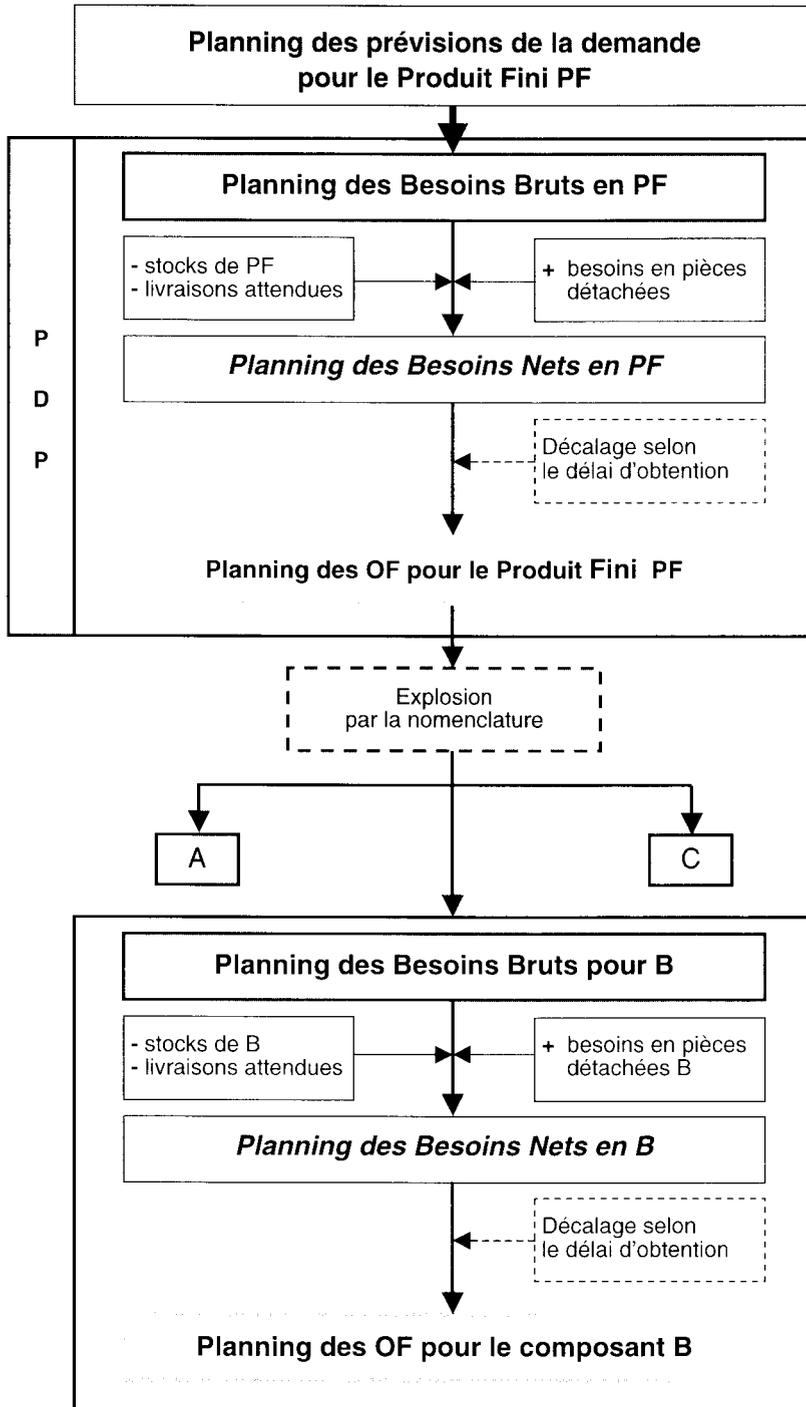


Figure 2.7 : Procédure d'éclatement en MRP

35 composants B, les besoins nets du 14/12 seront de  $120 - 35 = 85$  composants B. Quelques raffinements peuvent être apportés lorsque des stocks de sécurité sont imposés ou lorsque la production ne peut être réalisée que par lots (*cf.* exercice).

Sur la base de l'échéancier des besoins nets, le planning des OF de chaque composant sera établi en tenant compte du délai d'obtention de ce dernier. Le délai d'obtention peut être :

- soit un délai de fabrication : il est alors la somme des temps opératoires et inter-opératoires (temps de transit + temps d'attente) ;
- soit un délai d'approvisionnement auprès d'un fournisseur extérieur.

Si le composant B nécessite 3 jours d'usinage pour être réalisé, il faudra passer un OF de 85 composants B le 11/12 au matin. Précisons que nous sommes toujours dans l'hypothèse où l'entreprise dispose de capacités infinies lui permettant d'accepter tous les ordres suggérés.

Comme il est probable que chaque composant sera constitué de sous-composants, chaque sous-composant de pièces, etc., il faut réitérer les calculs précédents en descendant dans la nomenclature. Il n'est pas nécessaire que le produit fini soit particulièrement complexe pour que le nombre total de tableaux soit très élevé.

Nous ferons deux remarques importantes :

- certains composants primaires, parfois appelés « fournitures », ne doivent pas faire l'objet d'un calcul de besoins de type MRP et doivent être gérés par des méthodes classiques de gestion des stocks (*cf.* chapitre 3).
- il faut par ailleurs être attentif aux composants qui sont communs à plusieurs produits finis différents. Dans ce cas, la procédure à adopter est simple :

l'explosion est réalisée normalement pour chaque produit fini ;

puis, pour le (ou les) composant commun, on agrège les plannings des OF des différents produits finis pour obtenir l'échéancier des besoins bruts du composant en question.

#### • Suite de l'application chiffrée

Nous disposons déjà de la nomenclature matricielle complète des produits W, X, Y et Z. Le cycle de fabrication peut-être décrit de la façon suivante :

- les matières premières, notées  $MP_i$ , sont achetées à un fournisseur spécialisé et sont livrées en 2 jours ;
- elles sont usinées puis assemblées en 2 jours pour constituer les pièces, notées  $P_i$  ;
- durant 3 jours, les pièces sont usinées avant d'être à leur tour assemblées pour former les sous-modules, notés  $SM_i$  ;
- ces derniers subissent des traitements chimiques spécifiques, sont testés puis assemblés, tout cela en 4 jours pour fournir les modules principaux, notés  $M_i$  ;
- enfin, l'assemblage des modules principaux permet, au bout de 2 jours, d'obtenir les produits finis.

Les jours dont il s'agit sont des jours ouvrés (donc, hors samedi, dimanche et jours fériés, pendant lesquels le fournisseur et l'entreprise ne livrent, ni ne travaillent).

Le service commercial fournit à l'atelier les toutes dernières informations concernant les commandes fermes des clients :

	W	X	Y	Z
26 nov.	15	7	6	2
27 nov.	10	5	4	8

Pour des raisons techniques liées à la présence d'une machine spécifique, les sous-modules ne peuvent être assemblés que par lots de dix unités. Cela a pour conséquence la création de stocks. Les stocks de certains articles sont indiqués dans le tableau suivant :

	SM <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	MP <sub>1</sub>
Stocks	10	60	150

Déterminons les plannings des ordres d'achat, de fabrication et d'assemblage, en vue de satisfaire les clients, sachant que :

- le 27 novembre est un mardi,
- que tous les cycles sont indiqués en jours ouvrés,
- et que nous sommes aujourd'hui le 5 novembre.

Lorsque les nomenclatures sont définies de cette façon, il est possible d'utiliser le produit matriciel pour résoudre ce problème.

Il s'agit d'un problème en *capacité infinie* ; nous choisissons d'effectuer un jalonnement<sup>1</sup> au plus tard (encore appelé régressif ou amont) afin de faire apparaître les éventuelles marges en début de cycle. Les calculs partent donc de la date de mise à disposition des produits finis aux clients (26 et 27 nov.) et remontent jusqu'à la date courante, en tenant compte des week-ends et jours fériés :

5	6	7	8	9		12	13	14	15	16		19	20	21	22	23		26	27
---	---	---	---	---	--	----	----	----	----	----	--	----	----	----	----	----	--	----	----

La résolution de ce problème suppose d'effectuer autant d'itérations que le produit fini contient de composants (ici 4 composants) :

1. Le terme jalonnement est utilisé dans la norme X50-310 de l'AFNOR ; il s'agit de l'ordonnement des ordres. Nous en donnerons une définition plus précise dans le § 4.2.2.

1<sup>re</sup> itération : ordres d'assemblage des modules

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 & W & X & Y & Z \\
 M_1 & \boxed{\begin{array}{cccc} 1 & 1 & 0 & 1 \end{array}} \\
 M_2 & \boxed{\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 1 \end{array}} \\
 M_3 & \boxed{\begin{array}{cccc} 1 & 1 & 1 & 0 \end{array}}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 26/11 & 27/11 \\
 W & \boxed{\begin{array}{cc} 15 & 10 \end{array}} \\
 X & \boxed{\begin{array}{cc} 7 & 5 \end{array}} \\
 Y & \boxed{\begin{array}{cc} 6 & 4 \end{array}} \\
 Z & \boxed{\begin{array}{cc} 2 & 8 \end{array}}
 \end{array}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 22/11 & 23/11 \\
 M_1 & \boxed{\begin{array}{cc} 24 & 23 \end{array}} \\
 M_2 & \boxed{\begin{array}{cc} 23 & 22 \end{array}} \\
 M_3 & \boxed{\begin{array}{cc} 28 & 19 \end{array}}
 \end{array}
 \end{array}$$

24 = (1 × 15) + (1 × 7) + (0 × 6) + (1 × 2).

Ainsi, 24 correspond à la totalité des modules M<sub>1</sub> nécessaires pour fabriquer les produits finis de la commande du 26/11. Ces 24 modules doivent être disponibles le 22/11 au matin puisqu'il faut deux jours pour réaliser l'assemblage permettant d'obtenir les produits finis.

2<sup>e</sup> itération : ordres d'assemblage des sous-modules

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccc}
 & M_1 & M_2 & M_3 \\
 SM_1 & \boxed{\begin{array}{ccc} 1 & 0 & 1 \end{array}} \\
 SM_2 & \boxed{\begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \end{array}} \\
 SM_3 & \boxed{\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 1 \end{array}} \\
 SM_4 & \boxed{\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 0 \end{array}}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 22/11 & 23/11 \\
 M_1 & \boxed{\begin{array}{cc} 24 & 23 \end{array}} \\
 M_2 & \boxed{\begin{array}{cc} 23 & 22 \end{array}} \\
 M_3 & \boxed{\begin{array}{cc} 28 & 19 \end{array}}
 \end{array}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 16/11 & 19/11 \\
 SM_1 & \boxed{\begin{array}{cc} 52 & 42 \end{array}} \\
 SM_2 & \boxed{\begin{array}{cc} 24 & 23 \end{array}} \\
 SM_3 & \boxed{\begin{array}{cc} 51 & 41 \end{array}} \\
 SM_4 & \boxed{\begin{array}{cc} 23 & 22 \end{array}}
 \end{array}
 \end{array}$$

Le raisonnement de base est le même que pour la première itération. Cependant, à cause des contraintes d'assemblage par lots multiples de 10 et de l'existence d'un stock de sous-modules SM<sub>3</sub> de 10 unités, l'itération qui suit utilisera un tableau modifié, prenant en compte ces deux éléments. Ainsi pour SM<sub>3</sub>, on trouve bien 50 (car 51 – 10 = 41 arrondis à la dizaine supérieure, c'est-à-dire 50).

3<sup>e</sup> itération : ordres de fabrication des pièces

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 & SM_1 & SM_2 & SM_3 & SM_4 \\
 P_1 & \boxed{\begin{array}{cccc} 2 & 4 & 2 & 0 \end{array}} \\
 P_2 & \boxed{\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 2 \end{array}} \\
 P_3 & \boxed{\begin{array}{cccc} 0 & 1 & 1 & 4 \end{array}}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 16/11 & 19/11 \\
 SM_1 & \boxed{\begin{array}{cc} 60 & 50 \end{array}} \\
 SM_2 & \boxed{\begin{array}{cc} 30 & 30 \end{array}} \\
 SM_3 & \boxed{\begin{array}{cc} 50 & 50 \end{array}} \\
 SM_4 & \boxed{\begin{array}{cc} 30 & 30 \end{array}}
 \end{array}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 13/11 & 14/11 \\
 P_1 & \boxed{\begin{array}{cc} 340 & 320 \end{array}} \\
 P_2 & \boxed{\begin{array}{cc} 170 & 160 \end{array}} \\
 P_3 & \boxed{\begin{array}{cc} 200 & 200 \end{array}}
 \end{array}
 \end{array}$$

Étant donné que le stock de pièces P<sub>3</sub> est de 60, il viendra en déduction de la valeur 200 lors de la prochaine itération.

4<sup>e</sup> itération : ordres d'achat et d'usinage des matières premières

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>		13/11	14/11		7/11	8/11		
MP <sub>1</sub>	5	2	5	×	P <sub>1</sub>	340	320	=	MP <sub>1</sub>	2 740	2 920
MP <sub>2</sub>	2	4	2		P <sub>2</sub>	170	160		MP <sub>2</sub>	1 640	1 680
MP <sub>3</sub>	3	8	4		P <sub>3</sub>	140	200		MP <sub>3</sub>	2 940	3 040

Il faudra aussi réduire la valeur 2 740 du volume des stocks de matières premières MP<sub>1</sub> utilisables (150).

En résumé, on peut présenter le *jalonnement* au plus tard, en capacités infinies, pour les commandes à livrer les 26 et 27 novembre :

5	6	7	8	9		12	13	14	15	16		19	20	21	22	23		26	27
Marge	A		B			C		D							E			F	
Marge		A			B		C				D			E					F

Légende :

- A : approvisionnement en matières premières.
- B : usinage des MP et fabrication des pièces.
- C : usinage des pièces et fabrication des sous-modules.
- D : assemblage des sous-modules en modules.
- E : assemblage des modules en produits finis.
- F : mise à disposition de la commande.

Si le responsable d'atelier préfère réaliser la fabrication des deux commandes dès le 5 novembre (date courante), il suffit de décaler les plannings précédents vers la gauche ; les marges se trouvent alors en fin de cycle, au lieu d'être au début. Lorsque le respect des délais donnés au client est essentiel, le jalonnement au plus tôt peut permettre, en cas de difficultés lors des différentes phases du processus de production, de disposer de marges de manœuvre. En contrepartie, il faut accepter l'existence de stocks et d'en-cours, temporaires, mais coûteux.

Une fois ce travail effectué, et quel que soit le jalonnement retenu, se pose la question de savoir si cette programmation est réalisable. Les paragraphes suivants vont s'intéresser à la démarche MRP en capacité finie.

## 4.2 La nécessaire adéquation entre les charges et les capacités

Aucune entreprise ne peut s'arrêter à l'élaboration des plannings d'OF en capacité infinie ; ce serait suicidaire à la fois en termes organisationnels, et vis-à-vis de la clientèle. Cependant, si le PIC a été bien construit et correctement testé, l'entreprise

peut espérer que les ajustements entre les résultats de la méthode en capacité infinie et ceux de la méthode en capacité finie ne seront pas trop nombreux et significatifs.

La détermination des ajustements nécessaires à la prise en compte des capacités suppose une triple information :

- une parfaite connaissance des *capacités des postes* de travail (centres d'usinage, d'assemblage, etc.) sur l'horizon concerné ;
- l'existence d'un *fichier des priorités*, en vue d'effectuer les éventuelles modifications de façon satisfaisante et non anarchique<sup>1</sup> ;
- la connaissance du *mode opératoire* de chaque composant, c'est-à-dire de la *gamme*, afin de calculer pour chaque poste, la charge que le planning des OF suggère.

### ► *Un document fondamental : la gamme*

Le bureau des méthodes fournit un document essentiel, tant aux opérateurs qu'aux planificateurs : *la gamme*. Il s'agit de l'ensemble ordonné des instructions techniques précises décrivant :

- soit le processus de fabrication d'un composant ou d'un produit, par transformation d'une ou de plusieurs matières premières : on parle alors de *gamme d'usinage* ;
- soit le processus d'assemblage d'un produit ou d'un sous-ensemble : il s'agit de la *gamme d'assemblage* ;
- soit le processus de contrôle d'une fabrication : on utilise alors le terme de *gamme de contrôle*.

À chaque fois, on veille à ce que les moyens mis en œuvre soient les mieux adaptés et les modalités de fabrication optimales. C'est pourquoi il est possible d'avoir plusieurs gammes de fabrication pour certains composants ; en effet, on comprend qu'il puisse y avoir quelques différences selon que le composant est produit par lot de grande taille, ou à la demande, par exemple dans le cadre d'une demande de pièce détachée. On parle alors de *gamme secondaire* ou de remplacement.

Lorsque pour une phase le mode opératoire est trop complexe, la gamme peut simplement indiquer les éléments principaux et renvoyer une *fiche d'instructions techniques*, précisant tous les détails de la phase en question.

Lorsque le processus de fabrication est séquentiel (cas de la gamme présentée figure 2.8), on parle de *gamme linéaire*. À l'inverse, une *gamme avec chevauchement* signifie que certaines opérations peuvent commencer alors que des tâches précédentes ne sont pas terminées.

1. Il existe différentes règles de priorités (liste non exhaustive) :

- priorité aux dates de mise à disposition (exemple : lots dont la livraison est la plus proche) ;
- priorité à l'ordre d'arrivée devant le poste de charge (exemple : premier arrivé, premier usiné) ;
- priorité à la réduction des coûts de changement de série ;
- priorité à la valeur des lots (afin de minimiser la durée des immobilisations).

Gamme de fabrication		GRILLE – GMPP <sup>(1)</sup>			créée le 17/04/1998	
Responsable : Paul Fabre					M-A-J : 20/09/2000	
N° de Phase <sup>(2)</sup>	Nom de l'Opération	Ressources	Durée <sup>(3)</sup> opération	Durée préparation	N° FIT <sup>(4)</sup>	Mode opératoire Mode de jalonnement
01	Soudure	Poste 5	5	5	-	Nettoyer les surfaces
02	Fraisage	Poste 1	16	2	F-1A	Fraisage sur 40 mm ....
03	Perçage	Machine A	2	6	-	Perçage rapide 1 500 t/mn
04	Ponçage	Machine B	20	2	-	Ponçage grain 7/1 000è

- (1) GMPP : Grand Modèle Petit Portillon  
 (2) N° de phase ou encore N° d'ordre de l'opération  
 (3) Durée exprimée le plus souvent en minutes ou en heures  
 (4) FIT = Fiche d'Instructions Techniques

Figure 2.8 : Gamme de fabrication de la grille modèle GMPP

L'élaboration de gammes suppose donc la connaissance des *durées* de chaque opération ou *temps opératoires*. Il en existe deux catégories :

- le temps de préparation machine (nettoyage, montage d'outils...) et le temps de réglage, temps qui ne dépendent pas du volume à fabriquer ;
- le temps unitaire de fabrication : qui peut correspondre à la durée de fabrication, soit d'une seule pièce, soit d'un lot de x pièces.

Plusieurs méthodes permettent de déterminer le temps unitaire de fabrication. Lorsque le processus d'industrialisation n'est pas encore achevé (phase de conception du projet), la seconde méthode est particulièrement utile car il n'est pas possible d'effectuer une mesure réelle des durées grâce à la première méthode :

- la *chronométrage* consiste à mesurer la durée D de réalisation de chaque phase d'un processus de fabrication. Comme le résultat dépend à la fois de l'habileté et de la rapidité de l'opérateur, et d'éléments liés à la pénibilité du poste (temps de repos nécessaires, besoins physiologiques, etc.), on pondère successivement la durée observée D par deux coefficients afin d'aboutir une durée standard, c'est-à-dire une durée correspondant au travail d'un opérateur « représentatif » dans un environnement donné ;
- la méthode des *durées prédéterminées*, encore appelée méthode des *temps standards* utilise des tables qui fournissent la durée des gestes élémentaires de base (se tourner, saisir un objet, appliquer une pression). Il suffit de décomposer l'opération en une succession de mouvements élémentaires, puis de faire la somme des durées pour obtenir une durée de référence. Comme dans le chronométrage, on corrigera ce résultat en fonction des spécificités du poste.

Enfin, bien que les *temps interopérateurs* (ou temps de transits et temps d'attente) ne figurent pas dans la gamme et soient liés à l'organisation de l'entreprise, il ne faudra pas les négliger pour autant. Les durées liées à :

- la transmission des documents des services administratifs vers les ateliers,
- au transport ou à la manutention des pièces, d'une machine à l'autre dans un même atelier ou d'une machine à l'autre entre deux ateliers, représente une part non négligeable du délai total de production (certes variable selon les secteurs et les entreprises). Les temps interopérateurs seront pris en compte dans le jalonnement, par exemple dans le cadre d'un planning de type Gantt.

### ► *L'ordonnancement*

Sur la base des ordres de fabrication et des capacités de production, l'ordonnancement consiste à définir un calendrier prévisionnel de fabrication réalisable. Dans la plupart des moyennes entreprises, et dans toutes les grandes entreprises, il existe une « fonction ordonnancement » qui assure le *pilotage centralisé* de la production. Seules de petites structures peuvent fonctionner sur la base d'un ordonnancement décentralisé, où les ateliers s'organisent de façon indépendante ou presque.

#### • *Définitions*

Un *poste de charge* (ou section homogène, ou ressource) est un ensemble d'éléments matériels et/ou humains capable d'exécuter une tâche. Il faut être attentif à sa définition. Ainsi, un poste de trois opérateurs associés à trois machines travaillant chacun 8 heures par jour, n'est pas identique à un poste de trois opérateurs associés à une machine disponible 24 heures par jour (mode  $3 \times 8$ ). Il semblerait que la capacité soit la même ; pourtant, à l'occasion de l'ordonnancement (ou du jalonnement), de notables différences peuvent apparaître.

La *capacité* correspond à la quantité maximale de composants ou de produits qui peut être traitée par un poste de charge ; elle est soit théorique, soit réelle lorsque sont intégrés tous les éléments aléatoires (pannes, rebus, erreurs d'inattention des opérateurs, etc.) ;

La *charge* d'un poste de travail correspond à la quantité de composants ou de produits que le poste doit traiter pour satisfaire les demandes des clients (ou les prévisions de vente).

On appelle *jalons* les dates prévues pour le début d'une phase opératoire (de plus en plus rarement pour sa fin). Déterminer la totalité des jalons d'un processus correspond au *jalonnement*. C'est donc le résultat de l'ordonnancement.

Il existe deux méthodes de jalonnement :

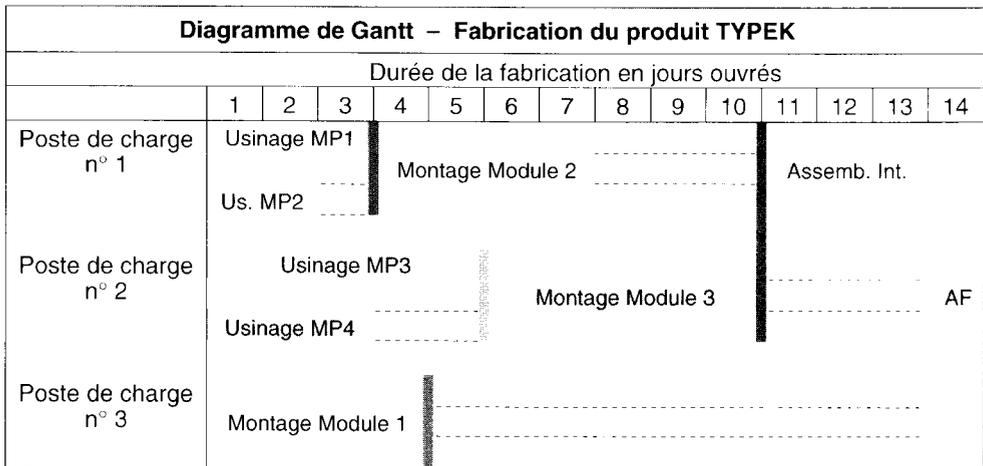
- le *jalonnement au plus tôt* (ou progressif, ou aval) : consiste, à partir de la date courante, à placer les fabrications dans l'ordre chronologique des différentes phases du processus productif ; cette méthode conduit souvent à une augmentation des encours ;

– le *jalonnement au plus tard* (ou régressif, ou amont) : consiste, à partir de la date de livraison, à placer les fabrications dans l'ordre décroissant des différentes phases ; elle a l'avantage de minimiser les en-cours et de faire apparaître les marges en début de cycle.

- *Diagramme de Gantt*

Le diagramme de Gantt<sup>1</sup>, souvent appelé « planning à bandes » ou « planning à gouttières », est la forme de représentation graphique du jalonnement la plus célèbre et la plus utilisée. Il permet de visualiser facilement l'enchaînement et la durée des différentes phases d'un processus productif.

Concrètement, il s'agit souvent d'un panneau mural où chaque opération est matérialisée horizontalement par une bande de papier colorée dont la longueur est proportionnelle à la durée de l'opération. Sur les axes, on trouve les temps en abscisse et généralement, les postes de travail (ou machines) en ordonnée. En règle générale, les temps interopératoires et les marges sont matérialisés par des espaces « vides », car seuls les temps techniques font l'objet d'une bande. L'illustration suivante décrit la fabrication du produit fini TYPEK.



Assemb. Int = Assemblage Intermédiaire.

AF = Assemblage Final.

Figure 2.9 : Diagramme de Gantt

La figure 2.9 illustre à la fois des situations de jalonnement dit « successeur » (lorsque deux opérations se suivent) et de jalonnement « avec chevauchement » (lorsque

1. Henry Gantt (1861-1919) fut le collaborateur et le disciple de F. Taylor ; il proposa une méthode de planification à l'aide d'un diagramme et la mise en évidence du chemin critique.

deux opérations ont lieu en même temps). Ce diagramme permet aussi de mettre en évidence les différentes *marges* et le *chemin critique*, c'est-à-dire le chemin sur lequel les marges sont toutes nulles (chemin critique = usinage MP<sub>3</sub> + montage module 3 + assemblage intermédiaire + assemblage final). Ainsi, il faut au minimum 14 jours pour fabriquer le produit TIPEK.

Par exemple, on constate qu'il y a une marge de 1 jour pour l'usinage MP<sub>2</sub>. On appelle ce type de marge la *marge libre* : c'est le délai ou le retard maximum que l'on peut prendre sur la réalisation d'une opération, sans perturber le début des opérations qui suivent. En revanche, la *marge de flottement* pour l'usinage MP<sub>2</sub> est de 4 jours : c'est le délai ou le retard maximum que l'on peut prendre sur la réalisation d'une opération, sans provoquer l'allongement de la durée totale du processus productif.

La connaissance des marges de flottement et de marges libres représente une indication précieuse pour le responsable de la production : ce dernier peut ajuster ses décisions en fonction de la gravité des perturbations et des marges disponibles. De plus, lorsque l'entreprise cherche à réduire le cycle de fabrication du produit fini, elle doit en priorité chercher à réduire la durée du chemin critique, comme le suggère indirectement la théorie des contraintes (Theory Of Constraints, TOC), qui placent les *ressources goulots* au cœur des préoccupations. Il est en effet évident que la seule diminution de la durée de l'opération montage module 2, par exemple, ne permettra pas de réduire la durée totale du processus. En revanche, gagner un jour sur le montage module 3 par une plus grande efficacité ramènera la durée de la fabrication à 13 jours.

Le diagramme de Gantt possède le considérable avantage d'être visuel et compréhensible par tous. À chaque période, le responsable du planning peut matérialiser par une barre verticale l'état d'avancement des opérations et ainsi, mettre en évidence les retards ou les gains de temps<sup>1</sup>.

#### • Les procédures de lissage

Une fois que les postes de travail sont « chargés » à capacité infinie, il faut veiller à ce que les capacités maximales réelles des postes ne soient pas dépassées. Capacité et charge sont rapprochées dans une représentation commune, afin de visualiser les surcharges, qu'il faudra éliminer d'une façon ou d'une autre : l'*histogramme chronologique* est généralement utilisé dans les logiciels (cf. figure 2.10).

Pour une période  $t$ , lorsque la capacité est insuffisante, il faut procéder à une opération appelée « *lissage*<sup>2</sup> ». Plusieurs possibilités sont à la disposition des responsables :

1. La théorie des graphes, enseignée dans les cours de recherche opérationnelle, est un complément indispensable à l'étude du jalonnement, car les diagrammes de Gantt connaissent cependant quelques inconvénients que les diagrammes en réseau, PERT ou MPM, ne possèdent pas. Pour des raisons de place, nous ne pouvons développer ces techniques.
2. Bien que plus risquée, il existe cependant une autre méthode. On peut décider de *maintenir les lancements* aux dates prévues ; il est alors nécessaire de gérer les files d'attente qui découlent des retards et des ruptures de stocks temporaires. Il faudra aussi faire patienter les clients, dans la mesure où les produits finis ne seront pas disponibles dans les délais prévus.

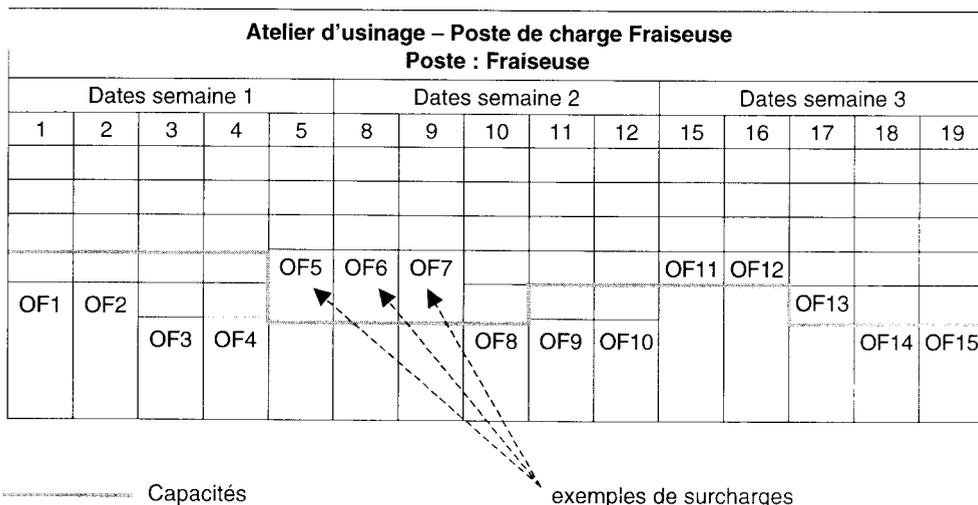


Figure 2.10 : Ordonnement simplifié des OF

- le *lissage en parallèle* : en période  $t$ , l'opération ou une fraction de l'opération est réalisée sur un autre poste de travail sous-utilisé ;
- le *lissage en série* : l'opération ou une fraction de l'opération est réalisée avant (jalonnement au plus tard) ou après (jalonnement au plus tôt) la période critique  $t$ , sur le même poste de travail ;
- une utilisation conjointe des deux méthodes précédentes ;
- une révision à la hausse de la capacité grâce à l'utilisation des heures complémentaires, ou de la sous-traitance.

Le fait de *remonter dans le temps* jusqu'à ce que l'on trouve la capacité disponible, quitte à diviser le lot à fabriquer en plusieurs parties plus faciles à « caser », entraîne deux conséquences majeures :

- la création d'un stock, car les pièces fabriquées à l'avance ne sont pas consommées immédiatement (coût de stockage) ;
- surtout, *cela conduit à revoir le jalonnement des niveaux inférieurs* : en effet, l'entreprise aura besoin plus tôt des composants utilisés dans la pièce dont la production a été avancée.

Ce dernier élément est très important ; nous lui consacrerons une place de choix lorsque nous traiterons le cas d'entreprise dans la prochaine section.

Exemple du lissage en série (jalonnement au plus tard) : selon les priorités qui auront été préalablement choisies, pour éviter de prendre du retard, on pourra envisager les solutions suivantes :

- passer l'excédent de l'OF 5 aux jours 1 et 2 ;
- passer l'excédent de l'OF 6 au jour 3 ;

- passer l'excédent de l'OF 7 au jour 4 ;
- passer l'excédent de l'OF 11 au jour 11 ;
- passer l'excédent de l'OF 12 au jour 12.

Un problème se pose pour l'OF 13 puisque toutes les sous-charges antérieures ont été utilisées ; les solutions consistent :

- soit à augmenter la capacité du jour 17 par les moyens classiques : lissage en parallèle, heures supplémentaires, transfert d'équipes, etc. ;
- soit à faire sous-traiter cette surcharge (sous-traitance de capacité) ;
- soit à accepter de prendre du retard en traitant la partie excédentaire de l'OF 13 à la date 19.

Cette dernière solution peut cependant avoir d'importantes répercussions sur l'ensemble des autres procédures de jalonnement et de lissage (pour les composants qui sont liés à ceux fabriqués dans le cadre de l'OF 13).

La planification des OF n'est donc réellement achevée que lorsque *le jalonnement en capacité finie* a été réalisé. Comme nous le précisons déjà plus haut, les modifications des échéanciers obtenus en capacité infinie, consécutives aux différents lissages, impliquent de revoir les calculs de besoins nets et les plannings de tous les composants de niveaux inférieurs. En effet, si un composant de niveau 3 dans la nomenclature doit être réalisé une semaine avant ce qui était prévu en capacité infinie, toutes les pièces de niveau 4 qui le composent doivent aussi être prêtes une semaine avant la date prévue.

Enfin, selon tous les utilisateurs de la méthode MRP, ce qui compte le plus, c'est de procéder périodiquement au recalcul de l'ensemble des ordres et des plannings, afin de tenir compte des dernières informations disponibles. Certes, une zone ferme est indispensable au fonctionnement stabilisé de l'entreprise. La durée de cette période pendant laquelle la planification ne sera que très exceptionnellement remise en question est très variable selon les secteurs industriels. Dans certains cas, les calculs sont faits le soir pour le lendemain.

Section

**2**

## MRP ET PROGICIELS DE GESTION INTÉGRÉE

Les objectifs de cette section sont multiples. Tout d'abord, il s'agit d'illustrer de façon précise et opérationnelle la méthode étudiée dans la section précédente, en ne s'arrêtant pas au jalonnement en capacité infinie, mais en intégrant totalement l'ordonnancement en capacité finie, avec toutes ses conséquences. Les situations réelles étant bien plus complexes que notre étude de cas, cela conduit à montrer que l'utilisation de progiciels est indispensable au fonctionnement du MRP : la détermination des OF et leurs mises à jour « glissantes » périodiques doivent forcément être automatisées pour

être réalisables (§ 1). De plus, certains algorithmes permettant l'optimisation des lancements en production ne peuvent plus être effectués manuellement du fait de leur complexité et du nombre de données à traiter (§ 2). Enfin, la description complète d'un logiciel de GPAO, représentatif de ce qui se fait aujourd'hui dans ce domaine, illustrera et éclairera de manière concrète certains éléments théoriques évoqués jusqu'alors (§ 3).

## 1 Étude de cas : le MRP en pratique

### 1.1 Dossier d'informations

Soit deux isolateurs A1 et A2 qui utilisent trois composants C1, C2 et C3, qui eux-mêmes intègrent trois pièces en porcelaine feldspathique P1, P2 et P3. Ces dernières sont fabriquées dans une chambre stérile d'usinage à partir d'une même matière première (pâte-feldspath). Elles sont ensuite associées et travaillées de nouveau dans un atelier de façonnage pour constituer les composants. Une ultime phase d'assemblage permet d'obtenir les produits finis.

La *nomenclature* matricielle est la suivante :

	A1	A2
C1	1	1
C2	2	0
C3	1	3

	C1	C2	C3
P1	2	1	0
P2	1	3	1
P3	1	0	1

L'entreprise a déterminé grâce à son nouveau logiciel *Demand-Forecasting* des prévisions de vente pour l'année N (tableau 2.2A) :

- pour les produits finis A1 et A2 : il s'agit des prévisions de vente pures ;
- pour les composants et les pièces : il s'agit des prévisions de vente en tant que composants de rechange et pièces détachées.

L'entreprise dispose des capacités de production, exprimées en heures, pour chaque étape de la fabrication des produits (tableau 2.2B). Grâce à la comptabilité analytique, elle connaît aussi le coût de fonctionnement horaire des différentes phases :

- usinage en chambre stérile : 450 € / heure,
- façonnage : 250 € / heure,
- assemblage : 350 € / heure.

Tableau 2.2A : Les prévisions de vente

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.
<b>A1</b>	180	200	210	220	230	240	240	260	230	200	200	180
<b>A2</b>	140	160	170	180	180	190	190	210	180	160	160	140
<b>C1</b>	15	20	20	20	25	25	25	25	25	20	20	20
<b>C2</b>	15	15	15	20	20	20	20	20	20	15	15	15
<b>C3</b>	10	10	15	15	15	15	15	20	15	10	10	10
<b>P1</b>	20	20	30	40	30	35	30	40	30	25	20	20
<b>P2</b>	45	45	45	60	70	60	65	60	70	45	45	40
<b>P3</b>	40	45	50	55	60	60	70	65	60	45	50	45

Tableau 2.2B : Capacités de production en heures

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.
<b>Assemblage</b>	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
<b>Façonnage</b>	400	400	400	400	250	250	250	250	250	250	250	250
<b>Usinage</b>	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400

Enfin, le responsable de la production dispose des informations suivantes :

Tableau 2.2C : Informations complémentaires

	Durée du cycle de production (en heures)	Coût unitaire des matières (en euros)	Livraisons en N programmées en N-1 (arrivent en début de mois)			Stock Final Déc. N-1	Délais d'obtention (en mois)
			Janv.	Fév.	Août <sup>(1)</sup>		
<b>A1</b>	2	50	200	160	180	50	1
<b>A2</b>	3	90	100		150	40	1
<b>C1</b>	0,10	7	145	250		40	1
<b>C2</b>	0,20	9	150	120		50	1
<b>C3</b>	0,25	4	450	750		55	2
<b>P1</b>	0,20	3	550			50	1
<b>P2</b>	0,25	5	2 200			150	1
<b>P3</b>	0,50	8	2 100			100	2

(1) Les livraisons de A1 et A2 du mois d'août s'expliquent par la fermeture d'une usine du groupe qui rapatrie sa production ultime vers notre usine.

## 1.2 Détermination en capacité infinie des ordres de montage et de fabrication

Afin d'éviter de surcharger les tableaux MRP, nous utiliserons la terminologie suivante : BB = besoins bruts ; BN = besoins nets ; OM = ordres de montage ; OF = ordres de fabrication ; LivProg = livraisons programmées.

Pour le produit A1, à cause des livraisons programmées, l'entreprise dispose de stocks en janvier et février : il n'y a donc pas de besoins nets. En revanche, dès mars, les besoins bruts du PDP vont créer 180 de besoins nets ( $180 = 210 - 30$  de stock) (voir tableau 2.2D).

Tableau 2.2D : PDP des produits finis A1 et A2

Pour le produit fini A1 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.
<b>BB</b>		180	200	210	220	230	240	240	260	230	200	200	180
<b>LivProg</b>		200	160	0	0	0	0	0	180	0	0	0	0
<b>Stock</b>	50	70	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	0	180	220	230	240	240	80	230	200	200	180
<b>OM</b>		0	180	220	230	240	240	80	230	200	200	180	

Pour le produit fini A2 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.
<b>BB</b>		140	160	170	180	180	190	190	210	180	160	160	140
<b>LivProg</b>		100	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0
<b>Stock</b>	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	160	170	180	180	190	190	60	180	160	160	140
<b>OM</b>		160	170	180	180	190	190	60	180	160	160	140	

On veillera notamment à :

- respecter le décalage de 1 mois lié au délai d'obtention ;
- ne pas oublier les deux livraisons d'août ;
- ne pas proposer de valeurs pour décembre N car cela ne refléterait pas la réalité : en effet, il est préférable d'attendre d'avoir les prévisions pour janvier N + 1.

Dans le cadre d'un PDP glissant, les tableaux sont actualisés périodiquement et se décalent vers la droite.

Les ordres de montage précédents deviennent les besoins bruts du niveau inférieur des composants. La nomenclature matricielle indique les différents coefficients associés aux liens de nomenclature, que nous rappelons pour mémoire en colonne de gauche au niveau des besoins bruts.

Dans la mesure où l'on ne dispose pas de l'OM de décembre puisque le besoin net de janvier N + 1 n'est pas connu, on prend le parti de ne pas remplir la colonne entière (les prévisions de vente sont pourtant connues, mais on sait que c'est incomplet).

Tableau 2.2E : Besoins nets et ordres de fabrication – Composants C1, C2 et C3

Pour le produit fini C1 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.
<b>BB</b>		15	20	20	20	25	25	25	25	25	20	20
<b>BB (1×A1)</b>		0	180	220	230	240	240	80	230	200	200	180
<b>BB (1×A2)</b>		160	170	180	180	190	190	60	180	160	160	140
<b>Total BB</b>		175	370	420	430	455	455	165	435	385	380	340
<b>LivProg</b>		145	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	110	420	430	455	455	165	435	385	380	340
<b>OF</b>		110	420	430	455	455	165	435	385	380	340	

Pour le produit fini C2 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.
<b>BB</b>		15	15	15	20	20	20	20	20	20	15	15
<b>BB (2×A1)</b>		0	360	440	460	480	480	160	460	400	400	360
<b>BB (0×A2)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total BB</b>		15	375	455	480	500	500	180	480	420	415	375
<b>LivProg</b>		150	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	50	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	70	455	480	500	500	180	480	420	415	375
<b>OF</b>		70	455	480	500	500	180	480	420	415	375	

Pour le produit fini C3 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.
<b>BB</b>		10	10	15	15	15	15	15	20	15	10	10
<b>BB (1×A1)</b>		0	180	220	230	240	240	80	230	200	200	180
<b>BB (3×A2)</b>		480	510	540	540	570	570	180	540	480	480	420
<b>Total BB</b>		490	700	775	785	825	825	275	790	695	690	610
<b>LivProg</b>		450	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	55	15	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	0	710	785	825	825	275	790	695	690	610
<b>OF</b>		710	785	825	825	275	790	695	690	610		

Il faut être attentif :

- et ne pas négliger les besoins bruts en composants trouvés dans les prévisions de vente des composants de rechange ;
- et prêter attention aux décalages de 1 mois pour C1 et C2, mais de 2 mois pour C3.

Les ordres de fabrication des composants deviennent à leur tour les besoins bruts des pièces P1, P2 et P3. Encore une fois, la nomenclature matricielle indique les différents coefficients associés aux liens de nomenclature.

Tableau 2.2F : Besoins nets et ordres de fabrication – Pièces P1, P2 et P3

Pour la pièce P1 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.
<b>BB</b>		20	20	30	40	30	35	30	40	30	25
<b>BB (2×C1)</b>		220	840	860	910	910	330	870	770	760	680
<b>BB (1×C2)</b>		70	455	480	500	500	180	480	420	415	375
<b>BB (0×C3)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total BB</b>		310	1 315	1 370	1 450	1 440	545	1 380	1 230	1 205	1 080
<b>LivProg</b>		550	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	50	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	1 025	1 370	1 450	1 440	545	1 380	1 230	1 205	1 080
<b>OF</b>		1 025	1 370	1 450	1 440	545	1 380	1 230	1 205	1 080	

Pour la pièce P2 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.
<b>BB</b>		45	45	45	60	70	60	65	60	70
<b>BB (1×C1)</b>		110	420	430	455	455	165	435	385	380
<b>BB (3×C2)</b>		210	1 365	1 440	1 500	1 500	540	1 440	1 260	1 245
<b>BB (1×C3)</b>		710	785	825	825	275	790	695	690	610
<b>Total BB</b>		1 075	2 615	2 740	2 840	2 300	1 555	2 635	2 395	2 305
<b>LivProg</b>		2 200	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	150	1 275	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	1 340	2 740	2 840	2 300	1 555	2 635	2 395	2 305
<b>OF</b>		1 340	2 740	2 840	2 300	1 555	2 635	2 395	2 305	

Pour la pièce P3 :

	déc. N-1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.
<b>BB</b>		40	45	50	55	60	60	70	65	60
<b>BB (1×C1)</b>		110	420	430	455	455	165	435	385	380
<b>BB (0×C2)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BB (1×C3)</b>		710	785	825	825	275	790	695	690	610
<b>Total BB</b>		860	1 250	1 305	1 335	790	1 015	1 200	1 140	1 050
<b>LivProg</b>		2 100	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	100	1 340	90	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	0	1 215	1 335	790	1 015	1 200	1 140	1 050
<b>OF</b>		1 215	1 335	790	1 015	1 200	1 140	1 050		

### 1.3 Détermination en capacité finie des ordres de montage et de fabrication

Une fois que l'on a effectué l'*explosion* de la nomenclature et que l'on dispose des lancements pour chaque niveau, il faut vérifier que les capacités productives permettent effectivement la réalisation des lancements programmés.

La logique oblige à procéder aux différents ajustements en commençant par le niveau le plus élevé (produits finis) en allant vers le niveau le plus bas (pièces). Il est

essentiel d'insister sur l'interdépendance des niveaux entre eux. À chaque niveau, les éventuelles modifications de la valeur des ordres établis en capacité infinie devront être *diffusées* à tous les niveaux inférieurs, par une sorte de mise à jour systématique des besoins bruts des composés.

Montrons concrètement quels sont les moyens utilisés pour réaliser la cohérence entre le PDP et les capacités productives disponibles. Le traitement complet de cet exemple est assez lourd ; pourtant nous avons volontairement choisi une nomenclature d'une grande simplicité par rapport à la réalité. Ainsi, cette illustration permet d'évoquer toutes les implications d'une démarche MRP, et rend évident la nécessité d'utiliser de puissants logiciels.

### ► Ajustement pour la phase assemblage

À l'aide des ordres de montage de A1, on calcule le nombre d'heures consacré chaque mois à l'assemblage des A1. Comme il faut 2 heures pour assembler un A1 et qu'un lancement de 180 A1 en février est demandé, il faudra prévoir 360 heures pour A1 en février. Le raisonnement est identique pour A2 (tableau 2.2G).

Tableau 2.2G : Ajustement n° 1 – Assemblage

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.
<b>Heures de A1</b>	0	360	440	460	480	480	160	460	400	400	360
<b>Heures de A2</b>	480	510	540	540	570	570	180	540	480	480	420
<b>Total heures ass.</b>	480	870	980	1 000	1 050	1 050	340	1 000	880	880	780
<b>Capacité de prod.</b>	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
<b>Excédent/Dépass.</b>	520	130	20	0	- 50	50	760	100	220	220	320
<b>Lissage arrière</b>	0	+ 30	+ 20	0	- 50	0	0	0	0	0	0
<b>Lancements A2 après ajust. n° 1</b>	160	180	187	180	173	190	60	180	160	160	140

Seules les cases grisées sont modifiées par le passage à la capacité finie.

Chaque mois, on compare les heures disponibles (capacité de production) aux heures nécessaires pour respecter les ordres de montage, puis on met en évidence un *excédent* ou un *dépassement* de capacité. En cas d'excédent, il n'y a rien à faire, sauf dans le cas où cette situation est chronique et reflète une surcapacité coûteuse et exagérée.

Lorsqu'un dépassement de capacité se produit, afin de ne pas retarder certaines livraisons, on cherchera à *anticiper* ce manque d'heures par un accroissement des heures travaillées des périodes précédentes. Il ne faut pas négliger les conséquences d'une telle méthode :

- cela conduit à *revoir les résultats des niveaux inférieurs* puisque les lancements d'un niveau k constituent les besoins bruts du niveau k + 1 ;
- cela va créer des *stocks intermédiaires* car les éléments (produits finis, composants ou pièces) fabriqués à l'avance ne seront pas consommés immédiatement ;
- il faut donc prévoir des *lieux de stockage* afin d'éviter l'encombrement des ateliers ou des dégradations accidentelles ;
- il est enfin judicieux de prévoir financièrement le coût de la constitution de tels stocks, et si possible, de chercher à le minimiser.

Dans la mesure où l'entreprise souhaite minimiser la durée du stockage, le dépassement devra être affecté dans les *périodes précédentes les plus proches*. Ainsi, le dépassement de 50 heures constaté en mai pourra être affecté en février et en mars (et non en janvier), mois durant lesquels l'atelier d'assemblage final dispose d'excédents suffisants. Reste à savoir comment répartir cette variation entre A1 et A2.

Puisque l'entreprise tente de *minimiser le coût du stockage* des quantités produites par anticipation, on peut admettre qu'elle choisira le produit possédant le coût de production horaire (CP/h) le plus faible. Cela suppose donc d'abord de calculer le CP/h de tous les éléments qui entrent dans la composition des produits finis, avant d'obtenir le CP/h de ces derniers.

On commence par calculer le coût total horaire des pièces P1, P2 et P3, puis des composants intermédiaires C1, C2 et C3, et on termine par les produits finis A1 et A2. Encore une fois, dans la pratique, les logiciels de GPAO possèdent un module qui effectue ce calcul par agrégation ascendante.

Tableau 2.2H : Coûts de production horaire

	Coût unitaire (en euros)	Production horaire	CP/h (en euros)
<b>P1</b>	93,0	5,00	465,0
<b>P2</b>	117,5	4,00	470,0
<b>P3</b>	233,0	2,00	466,0
<b>C1</b>	568,5	10,00	5 685,0
<b>C2</b>	504,5	5,00	2 522,5
<b>C3</b>	417,0	4,00	1 668,0
<b>A1</b>	2 744,5	0,50	1 372,3
<b>A2</b>	2 959,5	0,33	986,5

Voici quelques exemples de calculs :

- pour P1 :  
 coût d'un P1 =  $3 + (0,20 \times 450) = 93 \text{ €}$   
 production horaire =  $1/0,20 = 5 \text{ P1/heure}$   
 coût horaire =  $5 \times 93 = 465 \text{ €}$

– pour C1 :

$$\text{coût d'un C1} = 7 + (0,1 \times 250) + (2 \times 93) + (1 \times 117,5) + (1 \times 233) = 568,5$$

$$\text{production horaire} = 1/0,1 = 10 \text{ C1/heure}$$

$$\text{coût horaire} = 10 \times 568,5 = 5\,685 \text{ €}$$

– pour A1 :

$$\text{coût d'un A1} = 50 + (2 \times 350) + (1 \times 568,5) + (2 \times 504,5) + (1 \times 417) = 2\,744,5$$

$$\text{production horaire} = 1 / 2 = 0,5 \text{ A1/heure}$$

$$\text{coût horaire} = 0,5 \times 2\,744,5 = 1\,372,3 \text{ €}$$

Le CP/h de A2 est plus faible que celui de A1. Les ordres de montage du produit fini A2 seront donc modifiés en février, mars et mai. Or, il faut 3 heures pour assembler un produit A2 ; on peut donc obtenir les nouveaux ordres assez facilement :

– février :  $170 + (30 \text{ h}/3) = 180 \text{ A2}$ ,

– mars :  $180 + (20 \text{ h}/3) = 187 \text{ A2}$ ,

– mai :  $190 - (50 \text{ h}/3) = 173 \text{ A2}$ .

Le tableau des besoins nets et desancements pour A1 ne change pas. En revanche, il faut maintenant recalculer les ordres des niveaux inférieurs en tenant compte des changements précédents, qui provoquent :

– des variations dans les besoins bruts de C1 et C3 (A2 n'utilise pas de C2) :

– et en cascade, des variations dans les besoins bruts de P1, P2 et P3.

Afin de ne pas alourdir la présentation en tableaux, nous avons choisi de ne présenter le tableau complet que pour C1, et seulement la ligne « ordres de fabrication ». Pour C2, C3, P1, P2 et P3, nous laissons au lecteur le soin d'effectuer les vérifications.

Tableau 2.21 : Besoins nets et ordres de fabrication après ajustement n° 1

Pour le composant C1 :

	déc. N - 1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.
<b>BB</b>		15	20	20	20	25	25	25	25	25	20	20
<b>BB (1×A1)</b>		0	180	220	230	240	240	80	230	200	200	180
<b>BB (1×A2)</b>		160	180	187	180	173	190	60	180	160	160	140
<b>Total BB</b>		175	380	427	430	438	455	165	435	385	380	340
<b>LivProg</b>		145	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Stocks</b>	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BN</b>		0	120	427	430	438	455	165	435	385	380	340
<b>OF - C1</b>		120	427	430	438	455	165	435	385	380	340	

Pour les composants C2 et C3, et pour les pièces P1, P2 et P3 :

	déc. N - 1	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.
<b>OF - C2</b>		70	455	480	500	500	180	480	420	415	375	
<b>OF - C3</b>		760	785	775	825	275	790	695	690	610		
<b>OF - P1</b>		1 058	1 370	1 417	1 440	545	1 380	1 230	1 205	1 080		
<b>OF - P2</b>		1 407	2 690	2 823	2 300	1 555	2 635	2 395	2 305			
<b>OF - P3</b>		1 232	1 318	790	1 015	1 200	1 140	1 050				

Disposant des lancements programmés réels pour A1 et A2, on peut maintenant se consacrer à ajuster charge et capacité au niveau des composants.

### ► Ajustement pour la phase de façonnage

Le raisonnement est identique à celui de la phase d'assemblage. À l'aide des ordres de fabrication de C1, on calcule le nombre d'heures consacré chaque mois au façonnage des C1. Comme il faut 0,10 heure pour façonner un C1 et qu'un lancement de 120 C1 est demandé en janvier, il faudra prévoir 12 heures pour C1 en janvier. Raisonnement identique pour C2 et C3 (tableau 2.2J).

Tableau 2. 2J : Ajustement n° 2 – Façonnage

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.
<b>Heures de C1</b>	12	43	43	44	46	17	44	39	38
<b>Heures de C2</b>	14	91	96	100	100	36	96	84	83
<b>Heures de C3</b>	190	196	194	206	69	198	174	173	153
<b>Total heure façon.</b>	216	330	333	350	214	250	313	295	274
<b>Capacité de prod.</b>	400	400	400	400	250	250	250	250	250
<b>Excédent/Dépass.</b>	184	70	67	50	36	0	- 63	- 45	- 24
<b>Lissage arrière</b>	0	0	+ 46	+ 50	+ 36	0	- 63	- 45	- 24
<b>OF - C3 après ajust. n° 2</b>	<b>760</b>	<b>785</b>	<b>959</b>	<b>1 025</b>	<b>419</b>	<b>790</b>	<b>443</b>	<b>510</b>	<b>514</b>
<b>OF - P2</b>	1 407	2 874	3 023	2 444	1 555	2 383	2 215	2 209	
<b>OF - P3</b>	1 416	1 518	934	1 015	948	960	954		

Comme l'indique le tableau 2.2H, le CP/h de C3 est plus faible que celui de C1 et C2. On choisira donc les quantités de C3 pour assurer la cohérence entre charge et capacité. Il faut donc anticiper une production de 132 heures (63 + 45 + 24 = 132). Pour éviter de constituer des stocks trop importants trop longtemps, on va jusqu'au

maximum des excédents des périodes qui précèdent les dépassements. Une fois que l'on a ajouté + 36 en mai et + 50 en avril (c'est le mieux que l'on puisse faire), il reste + 46 à ajouter en mars pour arriver à 132. Ces 46 heures permettent de fabriquer 184 composants C3, qui vont s'ajouter aux 775 du tableau 2.2I pour aboutir à un ordre de 959 en mars.

Les lancements de C1, C2 et P1 sont toujours ceux indiqués dans le tableau 2.2I. Comme C3 n'utilise pas de pièce P1, seuls les ordres de fabrication concernant P2 et P3 seront modifiés (voir les deux dernières lignes du tableau 2.2J).

Disposant des lancements programmés réels pour C1, C2 et C3, on peut maintenant se consacrer à ajuster charge et capacité au niveau des pièces.

### ► *Ajustement pour la phase d'usinage*

Le raisonnement de base est toujours le même. Il consiste à comparer les heures disponibles aux heures nécessaires pour assurer la production et faire en sorte que la charge soit lissée lorsqu'elle est supérieure à la capacité. Mais pour ce dernier tableau d'ajustement (tableau 2.2K), si on procède comme précédemment en ne modifiant que la pièce dont le CP/h est le plus faible, c'est-à-dire P1, on s'aperçoit que le cumul des dépassements est supérieur à l'excédent dont on dispose en janvier :

$$352 + 106 + 7 > 129.$$

Si on réduit février de 274 heures (montant maxi pour P1), on sera toujours en dépassement, puisqu'il faudrait réduire de 352 heures. Finalement, il faudra adopter une solution spécifique pour régler ce problème.

Tableau 2.2K : Ajustement n° 3 – Usinage

	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet
<b>Heures de P1</b>	212	274	283	288	109	276	246
<b>Heures de P2</b>	352	719	756	611	389	596	554
<b>Heures de P3</b>	708	759	467	508	474	480	477
<b>Total</b>	1 271	1 752	1 506	1 407	972	1 352	1 277
<b>Heures disponibles</b>	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
<b>Excédent/Dépassement</b>	129	- 352	- 106	- 7	428	48	123
<b>Répartition</b>					0	0	0
- heures sur P1	+ 64,5	- 176	- 53	- 3,5			
- heures sur P3	+ 64,5	- 176	- 53	- 3,5			
<b>Prod. programmée après ajust. n° 3</b>							
- de P1 (50 %)	1 381	490	1 152	1 423	545	1 380	1 230
- et de P3 (50 %)	1 545	1 166	828	1 008	948	960	954

Par exemple, on peut modifier les ordres de P1 et P3 en effectuant un lissage où l'affectation sera réalisée avec une clé de répartition 50-50 :

- il restera pour P1 en février :  $274 \text{ h} - (352/2) = 98$  heures, soit 490 unités (car 5 unités par heure) ;
- il restera pour P3 en février :  $759 \text{ h} - (352/2) = 583$  heures, soit 1 166 unités.

On procède de façon identique pour les mois de mars et d'avril, ainsi qu'en janvier où l'excédent de 129 va se partager en deux avant de s'ajouter aux heures d'usinage de P1 et P3 :

- on a :  $212 + (129/2) = 276,5$  soit 1 381 unités P1,
- on a :  $708 + (129/2) = 772,5$  soit 1 545 unités P3.

Malgré ces modifications, l'atelier d'usinage connaît toujours un *dépassement non réaffecté* en janvier de 336 heures ( $336 = 352 + 106 + 7 - 129$ ). L'entreprise doit donc faire appel à la sous-traitance ou aux heures supplémentaires, afin de fabriquer les pièces manquantes, c'est-à-dire :

- 840 pièces P1 :  $(336 \text{ h} \times 50 \%) / 0,20 = 840$ ,
- 336 pièces P3 :  $(336 \text{ h} \times 50 \%) / 0,5 = 336$ .

On pourrait aussi envisager de décaler la fabrication de ces pièces sur le mois de mai où l'excédent de 428 heures permettrait d'absorber le dépassement non affecté en janvier de 336 heures. Mais ce décalage aurait d'importantes conséquences, puisqu'il provoquerait des manques pour C1, C2 et C3 lors des premiers mois de l'année, donc des manques pour A1 et A2. Tous les clients ne seraient donc pas livrés.

Comme on peut le constater sur cet exemple<sup>1</sup>, pourtant simple, les calculs permettant de lisser les charges sont assez lourds. Nous avons cependant souhaité les intégrer dans notre analyse afin que le lecteur s'approprie parfaitement la méthode, un peu comme s'il était dans l'entreprise et qu'il utilisait un progiciel lui fournissant ces tableaux. La complexité du MRP peut d'ailleurs s'accroître lorsque le responsable de la fabrication, pour des raisons financières ou techniques, décide d'opérer des regroupements d'OF successifs.

## 2 L'optimisation desancements : le regroupement des OF

### 2.1 Les raisons du regroupement des OF

Lorsque l'on dispose des tableaux MRP, et donc des échéanciers des OF, la méthode la plus simple consiste à ne programmer effectivement pour la période que la quantité couvrant exactement les besoins nets : c'est la règle dite du *lot pour lot*. Dans ce cas, on ne procède à aucun regroupement. C'est la solution que nous avons

1. Nous nous sommes inspiré de l'ouvrage de V. Giard (1988), particulièrement complet en ce qui concerne les techniques de planification de la production.

adoptée jusqu'à présent. Cependant, les *regroupements*, sans être imposés par la méthode de la capacité finie, sont souvent nécessaires à un fonctionnement *efficace* du MRP. La détermination de la quantité à fabriquer pour satisfaire les besoins *d'une ou plusieurs périodes*, repose généralement sur un *arbitrage* entre les coûts de lancement et les coûts de possession<sup>1</sup>. Il existe plusieurs règles de calcul des lots ; nous étudierons les plus connues, qui fonctionnent généralement sur les logiciels de GPAO.

La règle du lot pour lot est souvent utilisée lorsque :

- le coût de lancement d'une fabrication est relativement faible par rapport au coût de possession ;
- (et/ou) les clients exigent la traçabilité des composants du produit fini : chaque lot ainsi fabriqué est identifiable, car non mélangé à d'autres lots ;
- (et/ou) le responsable ne désire pas bouleverser les plannings de fabrication des composants des niveaux inférieurs.

Dans les autres cas, le regroupement peut s'avérer une technique intéressante. Il existe cependant *deux écueils* majeurs à une stratégie de regroupement :

- le regroupement des OF à un niveau k de la nomenclature conduit à revoir les lancements des niveaux inférieurs. Il faut donc effectuer le regroupement niveau par niveau ;
- le regroupement peut conduire à un excès de la charge par rapport à la capacité des équipements, et, finalement, l'entreprise peut être obligée de revenir en arrière, c'est-à-dire de garder les lots initiaux.

## 2.2 Les principales règles de regroupement des OF

Afin d'illustrer concrètement ces règles, nous les étudierons sur la base d'une illustration simplifiée. Ainsi, dans le cadre de ses calculs MRP, une entreprise de mécanique a établi l'échéancier des OF en pièces X-20 :

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Planning des OF	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80

Par ailleurs, elle subit un coût de 500 € pour chaque mise en fabrication, quelle que soit la taille du lot fabriqué ; le coût de possession en stock d'une caisse de 10 pièces X-20 est de 6 € par semaine. On peut très facilement conclure que la règle du *lot pour lot* conduirait à un coût de 5 000 € (10 lancements de 500 € et aucun coût de possession).

1. Le coût de lancement correspond aux coûts des réglages, des changements d'outils, etc. ; le coût de possession correspond au coût physique de stockage et au coût des capitaux immobilisés. Pour plus de détails, on pourra se référer au chapitre 3.

► **La quantité économique de Wilson**

Rigoureusement, elle n'est valable que si la demande est régulière<sup>1</sup>. Dans la pratique, il est toujours possible de calculer la quantité économique  $q^*$  (ici :  $q^* = 434$ ) pour avoir une idée générale correcte des regroupements à effectuer. Pour chaque regroupement, l'objectif consiste à se rapprocher le plus possible de la quantité  $q^*$  afin de ne pas trop s'éloigner du coût minimum (ici :  $CT(q^*) = 2\,305$  €). Dans l'exemple, on regroupe les 4 premières périodes, puis les 3 suivantes et enfin les 3 dernières. Les deux premières valeurs (430 et 420) sont proches de  $q^*$  ; la dernière de 280 s'en éloigne. Le coût total associé à cette politique est de 2 316 €, ce qui est proche du coût minimum théorique.

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Ordres de fabrication	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80	
<b>Méthode de Wilson</b>	<b>430</b>				<b>420</b>			<b>280</b>			
Coût du lancement	500				500			500			1 500
Coût de possession	0	72	180*	144	0	72	180	0	72	96	816
<b>Total</b>											<b>2 316</b>

\*  $180 = 150 \times 0,6 \times 2$ .

► **La règle de la quantité multiple de lancement**

À cause de contraintes techniques le plus souvent liées au transport (palettisation fréquente) et/ou aux capacités des équipements (taille des cuves), les lots fabriqués sont souvent des multiples d'un volume donné. Imaginons que le lancement en production soit un multiple de 400.

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Ordres de fabrication	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80	
<b>Quantité multiple</b>	<b>400</b>			<b>400</b>			<b>400</b>				
Coût du lancement	500			500			500				1 500
Coût de possession	0	72	180	90*	90	144	180**	48	144	126***	1 074
<b>Total</b>											<b>2 574</b>

\*  $50 \times 0,6 \times 3$

\*\*  $100 \times 0,6 \times 3$

\*\*\*  $70 \times 0,6 \times 3$ .

1. La présentation du modèle se trouve dans le chapitre 3. Il n'est pas indispensable de s'y reporter ; pour le problème qui nous préoccupe ici, il suffit de savoir que la quantité optimale  $q^*$  correspond à la valeur qui minimise le coût total, somme du coût de lancement et de possession.

► **La règle des lancements à périodicité fixe**

Par souci de simplicité, on peut décider de lancer des ordres de fabrication à dates fixes, par exemple toutes les 10 semaines. Il n'est pas improbable que cette politique soit couplée à la règle précédente. Dans ce cas, il faudra envisager un lancement massif de 1 200 unités en semaine n° 1 afin de couvrir les besoins des 10 semaines (il faut prendre 1 200 car c'est le plus petit multiple de 400 permettant de couvrir la totalité des besoins).

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Ordres de fabrication	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80	
<b>Dates fixes</b>	1 200										
Coût du lancement	500										500
Coût de possession		72	180	144	360	360	540	336	576	810	3 378
<b>Total</b>											<b>3 878</b>

\*  $120 \times 0,6 \times 8$

\*\*  $(80 + 70) \times 0,6 \times 9$ .

► **La technique basée sur l'algorithme de Wagner et Whitin<sup>1</sup>**

Assez délicate à résumer, il est préférable d'en exposer les principes directement à partir de l'exemple. Contrairement aux autres règles, cette méthode a l'avantage de fournir une solution optimale opérationnelle. Elle a cependant l'inconvénient d'être « lourde » à mettre en œuvre, surtout lorsque le nombre de références est élevé.

► **La technique proposée par Silver et Meal<sup>2</sup>**

Encore appelée règle de coût moyen par période, elle consiste à calculer le coût de gestion (coût de lancement + coût de stockage) de regroupements successifs sur 1, 2, 3... périodes. On arrête de grouper les ordres futurs dès que le coût moyen de gestion par période augmente par rapport au regroupement précédent. La poursuite de l'exemple nous permettra de décrire cette technique, qui ne fournit plus une solution optimale, mais simplement satisfaisante.

## 2.3 Algorithme de Wagner et Whitin

Le principe est de déterminer la meilleure stratégie de regroupement au moyen d'un algorithme. Pour que celui-ci puisse être appliqué, il est nécessaire que les

1. H. Wagner, R. Whitin, « Dynamic Version of the Economic Lot Size Model », *Management Science*, n° 1, vol. 5, 1959.

2. E. Silver, H. Meal, « A Heuristic for Selecting Lot Size Requirement for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities of Replenishment », *Production and Inventory Management*, n° 2, vol. 14, 1973.

ventes futures soient connues ou estimées par période fixe. Les calculs sont réalisés pour un composant donné, en faisant abstraction des contraintes de capacité (elles peuvent être réintroduites par la suite). Au début d'une semaine quelconque, le responsable du planning a deux possibilités : soit il peut lancer l'OF de la semaine, soit, parce que cet ordre a été anticipé, il peut puiser dans le stock.

► **Matrice des coûts de stockage**

Par exemple, quand faut-il lancer les 150 unités nécessaires à la semaine 7 ?

- soit en début de semaine 7,
- soit en début de semaine 6 : dans ce cas, on supportera un coût marginal de possession d'un montant égal à 90 € ( $150 \times 1 \times 0,60$ ),
- soit en début de semaine 5 : le coût marginal sera de 180 € ( $150 \times 2 \times 0,60$ ) ; etc.

Pour ces deux derniers cas, le fait de grouper les besoins bruts de la semaine 7 avec ceux d'une semaine antérieure va permettre de ne dépenser qu'une seule fois les 500 € de frais de lancement, au lieu de les payer deux fois.

Pour définir la politique optimale, il faut procéder en deux grandes étapes. Tout d'abord, on construit le tableau indiquant les coûts associés à toutes les possibilités de regroupement (arbitrage entre les coûts de lancements successifs et les coûts de possession marginaux). Une fois ce tableau terminé, un examen attentif nous conduira à déterminer la stratégie de regroupements optimale.

Tableau 2.3 : Algorithme de Wagner et Within – Matrice des coûts de stockage

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OF	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80
1	(1) <b>500</b>	(2) <b>572</b>	<b>752</b>	<b>896</b>	1 256	1 616	2 156	2 492	3 068	3 500
2		(3) 1 000	1 090	1 186	1 456	1 744	2 194	2 482	2 986	3 370
3			(4) 1 072	1 120	1 300	1 516	1 876	2 116	2 548	2 884
4				(5) 1 252	1 342	1 486	1 756	1 948	2 308	2 596
5					<b>1 396</b>	<b>1 468</b>	1 648	1 792	2 080	2 320
6						1 756	1 846	1 942	2 158	2 350
7							<b>1 968</b>	<b>2 016</b>	<b>2 160</b>	<b>2 304</b>
8								2 148	2 220	2 316
9									2 292	2 340
10										2 580

Afin de clarifier certains éléments du tableau 2.3, voici le détail des calculs pour quelques valeurs caractéristiques.

Tableau 2.4 : Algorithme de Wagner et Within – Aide à la construction

Référence dans le tableau	Semaine de lancement	Nombre d'OF regroupés	Quantités lancées	Coût de la stratégie choisie	Commentaires
(1)	On lance un OF de 80 en semaine 1				
	1	1	80	500	Un seul coût de lancement (CL) Aucun coût de possession (CP)
(2)	On lance un OF de $80 + 120 = 200$ en semaine 1				
	1	2	$80 + 120 = 200$	$500 + 72 = 572$	Un seul CL CP sur 120 pendant 1 période
(3)	On lance un OF de 80 en semaine 1 et un autre de 120 en semaine 2				
	1 2	1 1	80 120	500 500 $= 1\ 000$	Déjà vu Un seul CL et aucun CP On commande ce dont on a besoin
(4)	Attention ! On lance un OF de $80 + 120 = 200$ en semaine 1 et un autre de 150 en semaine 3				
	1 3	2 1	$80 + 120$ 150	572 500 $= 1\ 072$	Déjà vu Un seul CL et aucun CP On groupe les 2 premières commandes car : $572 < 1\ 000$
(5)	Attention ! On lance un OF de $80 + 120 + 150 = 350$ en semaine 1 et un autre de 80 en semaine 4				
	1 4	3 1	$80 + 120 + 150$ 80	752 500 $= 1\ 252$	Déjà vu Un seul CL et aucun CP On groupe les 3 premières commandes car : $752 < 1\ 072 < 1\ 090$

► **Recherche de la solution optimale**

La seconde étape consiste à décrire l’algorithme de recherche de la solution optimale. Pour cela, il est logique d’examiner la dernière colonne du tableau, car c’est elle qui indique le coût total de chaque stratégie de regroupement. La procédure de recherche de la solution optimale peut être décrite selon la chronologie suivante :

- dans la dernière colonne, on choisit la ligne qui correspond au coût total minimum : il s’agit de la ligne 7, pour 2 304 € ;
- cela signifie qu’à la semaine 7 on regroupe les OF des semaines 7, 8, 9 et 10. Ainsi, les 4 dernières colonnes du tableau deviennent inutiles et peuvent être masquées. Il suffit alors de recommencer à l’étape précédente ;
- dans la dernière colonne, qui est maintenant la colonne 6, on choisit la ligne qui correspond au coût total minimum : il s’agit de la ligne 5, pour 1 468 € ;
- cela signifie qu’à la semaine 5 on regroupe les OF des semaines 5 et 6. On masque alors les colonnes 5 et 6.
- dans la colonne 4, c’est la ligne 1 qui correspond au coût total minimum ; en semaine 1, on regroupe donc les OF des semaines 1, 2, 3 et 4.

Finalement, la stratégie optimale<sup>1</sup> conduit à opérer 3 regroupements et à proposer le planning des OF suivants :

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordres de fabrication	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80
<b>OF regroupés</b>	<b>430</b>				<b>270</b>		<b>430</b>			

Il est clair que plus le coût de lancement, de mise en fabrication (réglage) est élevé par rapport au coût de stockage, plus l’entreprise aura intérêt à adopter une stratégie de regroupement de ses lots. Ainsi, vous pouvez vérifier par le calcul (certes un peu long, à moins d’utiliser un tableur) que si le coût de lancement baisse à 100 €, le coût total est de 788 € et le planning précédent devient :

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordres de fabrication	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80
<b>OF regroupés</b>	<b>200</b>		<b>230</b>		<b>270</b>		<b>230</b>		<b>200</b>	

1. Remarque : dans le tableau 2.3 de Wagner-Within, figure aussi la valeur de 2 316 euros (dernière colonne) que nous avons obtenue avec la règle de Wilson : cela correspond bien à 4, 3 puis 3 regroupements.

## 2.4 Heuristique de Silver et Meal

Dans un premier tableau, on calcule les coûts totaux en considérant toutes les possibilités de regroupements. Les principes de calculs sont assez proches de ceux de la méthode précédente.

Tableau 2.5 Algorithme de Silver et Meal – Coûts totaux

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OF	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80
<b>1</b>	500	<sup>(1)</sup> <b>572</b>	<sup>(2)</sup> <b>752</b>	<b>896</b>	1 256	1 616	2 156	2 492	3 068	3 500
<b>2</b>		500	590	686	956	1 244	1 694	1 982	2 486	2 870
<b>3</b>			500	548	728	944	1 304	1 544	1 976	2 312
<b>4</b>				500	590	734	1 004	1 196	1 556	1 844
<b>5</b>					<b>500</b>	<b>572</b>	<b>752</b>	896	1 184	1 424
<b>6</b>						500	590	686	902	1 094
<b>7</b>							500	548	692	836
<b>8</b>								500	572	668
<b>9</b>									500	548
<b>10</b>										500

(1)  $572 = 500 + (120 \times 0,60 \times 1)$ .

(2)  $752 = 572 + (150 \times 0,60 \times 2)$ .

Tableau 2.6 : Algorithme de Silver et Meal – Coûts moyens

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins nets	80	120	150	80	150	120	150	80	120	80
Étape 1	<b>80</b>	<b>200</b>	<b>350</b>	<b>430</b>	580	700	850	930	1 050	1 130
	<sup>(1)</sup> 6,25	2,86	2,15	<b>2,08</b>	2,17	2,31	2,54	2,68	2,92	3,10
Étape 2					<b>150</b>	<b>270</b>	<b>420</b>	500	620	700
					3,33	<sup>(2)</sup> 2,12	<b>1,79</b>	1,792	1,910	2,034
Étape 3								<b>80</b>	<b>200</b>	<b>280</b>
								6,25	2,86	2,39

(1)  $6,25 = 500 / 80$ .

(2)  $2,12 = 572 / 270$  (270 signifie que l'on commande  $150 + 120$  en semaine 5).

La construction du tableau des coûts moyens suppose la chronologie suivante :

- 1<sup>ère</sup> étape : on effectue le cumul des OF :
  - pour chaque semaine, on divise le coût total par l'OF cumulé : on obtient donc un coût moyen, fonction du nombre de semaines regroupées ;
  - on arrête le regroupement lorsque le coût moyen est minimum ;
  - ainsi, on regroupe les 4 premières semaines et on lance 430 lors de la semaine 1.
- 2<sup>e</sup> étape : on procède de la même façon à partir de la semaine 5 en considérant que seuls les OF à venir sont à prendre en compte.
- on effectue le cumul des OF à partir de la semaine 5 ;
- pour chaque semaine, on divise le coût total par l'OF cumulé ;
- on regroupe les semaines 5, 6 et 7 : on lance 420 unités.

On continue selon ce principe jusqu'à la dernière colonne du tableau. Il suffit ensuite d'additionner les coûts partiels obtenus au fur et à mesure de la procédure précédente :

$$896 + 752 + 668 = 2\,316 \text{ €}$$

On constate que le coût est supérieur à celui trouvé par la méthode de Wagner et Whitin ; c'est normal car cette dernière est la seule méthode optimale. L'écart entre les deux méthodes est cependant assez faible pour que l'on puisse choisir aussi bien l'une que l'autre dans la majorité des situations. Quelle que soit la méthode retenue, le regroupement des ordres de fabrication (ou des besoins nets) est fréquemment pratiqué par les entreprises, désireuses de simplifier leurs programmes de production et de bénéficier d'un minimum d'effet d'expérience. Les techniques étudiées, loin de fournir la solution miracle, doivent être considérées comme des guides pour l'action. Effectivement, dans les progiciels de GPAO, certains modules peuvent être considérés comme des systèmes d'aide à la décision (interactifs ou non), dans la mesure où ils permettent la simulation.

### 3 Description d'un progiciel de GPAO

L'usage des progiciels de GPAO est aujourd'hui si répandu qu'il nous a semblé intéressant et formateur de présenter l'un d'entre eux (MAPICS XA). Cependant, avant d'en étudier les principales fonctionnalités, nous avons jugé nécessaire de replacer ce type de progiciel dans son contexte : la GPAO est un des éléments du système d'information de l'entreprise et participe plus ou moins directement au développement des ERP et des APS. Enfin, comme de nombreux progiciels concurrents, MAPICS XA propose un module, appelé « gestion sans OF », qui n'a pas manqué d'attirer notre attention, dans la mesure où il prend à contre-pied le système MRP, présent dans la majorité des autres modules.

### 3.1 EIS, ERP, APS et GPAO

L'usage d'acronymes en gestion de production est fréquent et il n'est pas possible d'y échapper, d'autant qu'ils sont employés dans de nombreuses entreprises et dans presque toutes les revues de gestion de production ou de logistique. Ainsi, un progiciel de GPAO s'inscrit dans l'EIS ou l'ERP, et, dans certains cas, constitue déjà un APS.

L'EIS – Enterprise Information System – correspond au *système d'information* de l'entreprise. Il s'agit d'un ensemble organisé de ressources (matériels, logiciels, personnels, données, procédures) permettant d'acquérir, de traiter, de stocker et de communiquer des informations dans et entre des organisations. Il permet des opérations aussi diverses que la prise de commandes, l'édition de bons de préparation, la facturation, la comptabilité générale, la paie, etc. Plus ou moins perfectionné, cela fait longtemps qu'il existe dans l'entreprise. À la base, le degré d'intégration d'un EIS est cependant assez faible, c'est pourquoi de nouvelles solutions sont apparues, faisant suite aux demandes des entreprises et grâce aux progrès réalisés en informatique.

Robert Reix<sup>1</sup> distingue les systèmes d'information selon leurs finalités, à savoir les systèmes support d'opérations et les systèmes support de gestion :

- les *systèmes support d'opérations* participent au traitement des opérations correspondant aux activités quotidiennes de l'entreprise ; on peut citer les systèmes :
  - de traitement des transactions : traitement et enregistrement des ventes, traitement et paiement des fournisseurs, etc. ;
  - de support et de contrôle des processus industriels : CAO, PAO, et GPAO, etc. ;
  - de support des opérations de bureau et de communication : bureautique, messagerie électronique, téléconférence, etc.
- les *systèmes support de gestion* assistent les cadres et les dirigeants dans leurs activités de prévision et de simulation, et bien sûr, dans la prise de décision ; on trouve notamment les systèmes :
  - de production de rapports, à la demande, ou selon une périodicité prédéfinie (tableaux des ventes, liste des incidents de fabrication, ventilation des coûts par produit, etc.) ;
  - d'aide à la décision : SIAD, systèmes experts, systèmes d'information pour dirigeants<sup>2</sup>, systèmes d'aide à la décision collective.

Aujourd'hui, de plus en plus d'entreprises tentent de construire des systèmes d'information qui soient à la fois support d'opérations et support de gestion. Par exemple, un système de traitement des transactions utilisé par l'équipe commerciale peut produire des rapports périodiques (ventilation des ventes, prévisions des prochaines semaines, etc.) et être lié de façon très étroite à un système d'aide à la

1. R. Reix, 1995.

2. Les systèmes d'information pour dirigeants sont parfois appelés EIS ; dans ce cas, cela correspond à Executive Information System et non à Enterprise Information System.

décision pour la gestion des stocks et des approvisionnements. En 1996, J. Welch, président de General Electric, disait : « *La technologie de l'information est dans une période de transition majeure : de simple fonction dans les années 80, elle est en train de devenir l'outil indispensable à la compétitivité, le système nerveux central de presque toutes les activités dans l'entreprise.* »

Ce *phénomène d'intégration* traduit la contrainte de cohérence de plus en plus présente dans la stratégie des entreprises. ERP et APS répondent aux besoins d'intégration des entreprises, tant sur le plan interne qu'externe (chaîne logistique).

Le concept d'ERP – Enterprise Resource Planning – est né dans les années 80 de l'extension de la méthode MRP. Les ERP sont des *Progiciels de gestion intégrée* (PGI) ; ils visent l'intégration complète des données et s'appuient notamment sur :

- une base de données commune,
- l'unicité de la saisie,
- la grande disponibilité des informations,
- et sur une parfaite liaison entre les différentes applications.

Les grands éditeurs d'ERP sont SAP, Oracle, PeopleSoft, Baan, JD Edwards, Mapics, Adonix, etc. La tendance consiste bien sûr à ne plus proposer d'EIS non-intégrés. Finalement, les ERP se substituent progressivement aux EIS en effectuant leurs précédentes fonctions, plus les nouvelles liées à l'intégration et à la *supply chain*. Lorsque de nouvelles fonctionnalités complémentaires viennent enrichir les PGI, telles que le CRM – Customer Relationship Management – ou le e-business, cela donne naissance à ce que l'on appelle maintenant l'ERP étendu, ou X-ERP ou encore EEA – *Extended Enterprise Application*. Les solutions dites EEA utilisent les technologies Web pour étendre les fonctions intégrées existantes des ERP aux partenaires de l'entreprise (fournisseurs, distributeurs, clients), les reliant ainsi de façon sécurisée aux systèmes de gestion de l'entreprise, dans le cadre du *Supply Chain Management*<sup>1</sup>.

Selon les chiffres de IDC France<sup>2</sup>, sur la base des revenus des licences, les principaux modules applicatifs d'un ERP étaient en 2000 :

- la GPAO : 24 %,
- la gestion commerciale : 24 %,
- la comptabilité-finances : 30 %.

En France, la plupart des grandes entreprises industrielles sont équipées d'ERP ; cela explique que les projets concernant cette catégorie d'entreprises consistent à mettre en place des modules complémentaires (CRM, SCM, e-business, EEA). Le segment porteur est donc maintenant le *midmarket*, c'est-à-dire les entreprises de 500 à 2 000 personnes ; en 1999, il a représenté 46 % du chiffre d'affaires licences des éditeurs.

1. Ces concepts seront repris lorsque nous aborderons le chapitre sur la logistique. Il n'était pas concevable, sous peine de tout confondre, de traiter en détails ces thèmes dès le second chapitre.

2. Source : <http://www.idc.fr/presse/>.

Les APS sont aussi des progiciels que l'on peut connecter aux EIS, et qui tendent comme les ERP, à se substituer aux EIS. Le terme APS signifie Advanced Planning and Scheduling (ou Advanced Planning System), souvent traduit par solution de planification avancée. Il s'agit d'un marché plutôt récent, mais en forte croissance. À leur naissance, ces progiciels traitaient surtout des problèmes de prévision des ventes, de planification des besoins et d'ordonnancement, dans le cadre de la *supply chain*. Aujourd'hui, leurs fonctions se sont élargies et enrichies. Élargies, car ils assurent des fonctions nouvelles (outils de planification, budgétaires, de communication avec les sous-traitants, etc.) ; enrichies, car ils sont devenus de vrais *outils d'aide à la décision* (systèmes d'optimisation intelligents, techniques avancées de simulation, etc.). Les progrès réalisés dans le traitement de l'information et dans la mémorisation ont permis d'améliorer les APS, qui offrent des solutions à la fois plus complètes sur le plan algorithmique, plus rapides sur le plan du calcul et plus simples sur le plan de l'utilisation. Les principaux éditeurs d'APS sont I2, Manugistics, Synquest, Numetrix, Azap (France).

Les principales fonctions des APS sont, d'après J.-P. Netter (Pdt de Diagma Consultants) :

- les prévisions des ventes à court et moyen terme ;
- la planification au mois, sur 12 à 24 mois à partir des prévisions ;
- la planification à la semaine, sur 16 semaines à partir des prévisions de court terme ;
- l'ordonnancement détaillé des ressources à mettre en œuvre ;
- les plans de transport entre les sites de production ;
- les plans d'approvisionnement des dépôts.

Il est parfois difficile de distinguer avec précision les ERP des APS : c'est pourquoi de nombreux spécialistes utilisent le terme joint ERP/APS. Ce qu'il est essentiel de retenir, c'est la tendance forte et incontestable de la recherche d'une plus grande intégration, tant à l'intérieur de l'entreprise, qu'entre la firme et ses partenaires. Même si des progrès restent à faire, la gestion de production, au même titre que les autres fonctions de l'entreprise, s'inscrit dans une perspective transversale et intégrée.

### 3.2 MAPICS Inc. et MAPICS XA<sup>1</sup>

MAPICS Inc. est une société américaine basée à Atlanta, cotée au NASDAQ depuis 1997 et possédant de nombreuses filiales, telles que MAPICS France. En 1978, l'entreprise propose un des tout premiers systèmes intégrés complets de planification des ressources de production (MRP 2). Depuis, son offre s'est adaptée aux nouveaux besoins des entreprises. Nous allons étudier la dernière version du progiciel ERP appelé MAPICS XA. En 1999, MAPICS a été reconnue numéro un mondial pour le

---

1. Voir le site particulièrement complet : <http://www.mapics.com>.

service et le support par l'AMR – Advanced Manufacturing Research – et a obtenu la meilleure note dans sept catégories clés selon une étude de satisfaction client menée par le Gartner Group.

MAPICS XA est une suite d'applications pour l'entreprise étendue (EEA), destinée aux entreprises industrielles de taille moyenne. Selon la société CXP<sup>1</sup>, « XA offre un processus d'implémentation simplifié avec des applications intégrées qui permettent aux entreprises nationales ou multinationales, mono ou multisites d'étendre leur production et d'augmenter leurs revenus. XA est la solution de gestion industrielle intégrée la plus utilisée au monde et dispose de fonctionnalités éprouvées pour la gestion de production, la gestion des données techniques, la gestion de la demande et la gestion de la chaîne logistique. Sa conception modulaire permet de choisir parmi plus de 45 applications pour configurer la solution personnalisée correspondant à chaque situation de production, tout en préservant la possibilité d'ajouter de nouveaux modules »<sup>2</sup>.

MAPICS XA comporte 45 modules intégrés, répartis en plusieurs grandes fonctions que nous détaillerons dans les tableaux suivants<sup>3</sup>.

<b>Fonctions inter-applications</b> (outils de traitement de l'information)	
Support inter-applications (CAS)	Gère le système et ses données
Power Vision (PV)	Outils d'accès aux informations sous forme graphique qui combine les données de plusieurs applications
Tableau de bord EIS (EIS)	Présente 32 indicateurs synthétiques de performances industrielles (qualité, production, vente, finance) et analyse leur évolution. Il est possible d'en créer d'autres selon ses besoins
Info Work Place (IWP)	Base de données fonctionnant en mode client-serveur et offrant à des utilisateurs non informaticiens de grandes possibilités d'analyse
Commerce électronique (EC)	Permet de traiter avec les clients, les fournisseurs, les banques, via EDI et Internet

Ces fonctions inter-applications offrent d'intéressantes synthèses, qui permettent de faciliter les choix des décideurs. Ces derniers peuvent, selon leurs besoins, créer leurs propres indicateurs. Ce module utilise toutes les informations répertoriées par le progiciel.

1. CXP est une société spécialisée dans la comparaison des progiciels de gestion, qui vise à faciliter le choix des entreprises souhaitant informatiser leur gestion (site <http://www.cpx.fr>).
2. MAPICS XA peut être complété par le progiciel Thru-Put, qui est une solution de planification avancée (APS) et de gestion de la chaîne logistique (SCM).
3. Dans la mesure où elles nous éloigneraient de nos centres d'intérêt, nous ne développerons pas les deux dernières fonctions du progiciel : gestion financière et gestion de la maintenance.

<b>Fonctions commerciale et marketing</b> (prend en charge tous les aspects de la relation client)	
Gestion commerciale (COM)	Expédition, facturation des commandes, etc.
Analyse commerciale et marketing (MMA)	Analyse des ventes sous forme graphique (produits, clients, canaux de distribution, marges)
Configurateur de produits (KBC)	Lors de la prise de commande client, un système expert facilite la définition des produits assemblés ou fabriqués à la commande (en mettant les connaissances des ingénieurs à la disposition des services commerciaux, les premiers n'ont plus à vérifier la faisabilité des commandes clients)
Logistique intersites (ISL)	<p>Coordonne les activités entre les centres de distribution et les sites de production (fonction DRP = Distribution Requirement Planning). Ce module gère un nouveau type d'ordre : les ordres inter-sites. Il est utile dans plusieurs situations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un service commercial central traite l'administration des ventes et la production est décentralisée sur plusieurs sites industriels,</li> <li>- les prises de commande sont décentralisées sur des sites de vente et la production est centralisée,</li> <li>- les sites de production agissent en tant que fournisseurs les uns des autres,</li> <li>- les produits sont envoyés à un sous-traitant avant d'être transférés vers une autre usine</li> </ul>

<b>Fonctions techniques</b> (conception et définition des produits, établissements des devis et modifications techniques)	
Gestion des données techniques (PDM)	<p>Contient notamment la nomenclature et la gamme de chaque produit. Toutes les informations ne sont saisies qu'une seule fois et sont disponibles dans l'ensemble des applications MAPICS</p> <p>PDM assure aussi le calcul du prix de revient par remontée des coûts au travers des nomenclatures et des gammes, et la gestion des variantes et des options pour les produits assemblés à la commande</p>
Module EPDM	Étend les fonctions précédentes aux produits qui possèdent plusieurs nomenclatures et gammes (en fonction des différents sites de production). Il permet aussi des transferts de données des systèmes CAO vers MAPICS
Gestion des estimations et des devis (EQM)	Dans le cadre d'une conception et d'une fabrication à la commande, permet d'obtenir rapidement les devis, une fois les besoins des clients exprimés

On retrouve ici de nombreux éléments évoqués dans la section précédente. Gamme, nomenclature, calcul du prix de revient par remontée des coûts... ont fait l'objet

d'illustrations et d'exemples chiffrés. Le degré d'intégration d'un système d'information est d'autant plus fort que les informations ne sont saisies qu'une seule fois, puis disponibles pour tous les utilisateurs, qu'ils soient à la vente ou à la production.

<b>Planification de la production</b> (élabore des solutions pour répondre rapidement à l'évolution des marchés)	
Prévisions (FCST)	<p>Utilisent l'historique des ventes pour évaluer la demande future :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– adaptation rapide en cas de changements grâce à la prise en compte permanente des taux d'erreur des prévisions (cela rappelle le principe du lissage exponentiel),</li> <li>– les méthodes de prévisions statistiques s'adaptent automatiquement à l'évolution du schéma de la demande,</li> <li>– fixation des niveaux de stock de sécurité en fonction de la demande et du niveau de service exigé</li> </ul>
Planification générale (MSP)	<p>Aide à construire un plan directeur de production adapté à la demande ; ses fonctions sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– planification de la production : agrégation de la demande par famille et planification par famille, puis répartition en plans par article,</li> <li>– ordonnancement,</li> <li>– planification des ressources : tester les plans au niveau des familles par rapport à la disponibilité des ressources,</li> <li>– planification globale des capacités : teste les PDP au niveau des articles,</li> <li>– possibilité de fixer le niveau des stocks à atteindre et MSP lisse automatiquement la production</li> </ul>
Planification des besoins (MRP)	<p>Émet des suggestions sur les ordres d'achat (OA) et de fabrication (OF) nécessaires à la bonne réalisation du plan :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– le détail de la décomposition des besoins est entièrement conservé (ainsi, à tous les niveaux, on peut retrouver l'origine du besoin),</li> <li>– le <i>Full Pegging</i> indique directement la commande client à l'origine d'un ordre d'achat ou de fabrication,</li> <li>– la replanification automatique permet des mises à jour aisées</li> </ul>
Planification des charges d'atelier (CRP)	<p>Aide à anticiper les surcharges et les sous-charges, donc à optimiser les ressources :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– identification séparée des charges déjà engagées (ordres en cours) et des charges planifiées (ordres issus du MRP),</li> <li>– élaboration de graphiques synthétiques,</li> <li>– mise en évidence des surcharges et des sous-charges</li> </ul>

Nous retrouvons ici les trois grandes phases du MRP : la prévision, la planification en capacité infinie (cependant, avec test global du PIC et du PDP), puis la mise en cohérence des charges et des capacités.

<b>Logistique de production</b>	
Gestion des stocks (IM)	Suivi des stocks pour chaque magasin, inventaires, valorisation
Suivi de production et de prix de revient (PCC)	En s'appuyant sur la notion d'ordres de fabrication, ce module gère les flux de travail et propose des solutions qui améliorent la fluidité des opérations. Il fournit un suivi du statut des OF, en établit le coût, calcule les dates d'achèvement des ordres, les priorités, etc.
Gestion des fabrications sans OF (REP)	Programme les lignes de production, traite les mouvements de composants à l'aide des Kanban électroniques et vérifie le respect des plannings de production. Ce module permet de travailler par programme plutôt que par ordre de fabrication
Suivi d'atelier (PMC)	Interface entre les terminaux de collecte automatique (lecteurs de codes à barres, scanners) et les modules précédents, afin de mettre à jour les activités de production et les stocks
Achats – Réceptions (PUR)	Prend en charge les demandes et ordres d'achat, les mesures de performances des fournisseurs et les activités de réception des produits

L'étude des différents modules et de leurs fonctions nous permet de constater que les éléments théoriques évoqués dans les sections précédentes sont tous présents, de façon opérationnelle, dans un des progiciels de gestion industrielle les plus utilisés au monde. Même s'il passe presque inaperçu, le *module REP* de la logistique de production revêt une importance considérable, puisqu'il correspond, à l'inverse du MRP, à une *gestion de production sans OF*. Arrêtons-nous sur ce mode de gestion.

### 3.3 Gestion de production sans OF

#### ► *Un exemple de système mixte : MRP et gestion sans OF chez TESA<sup>1</sup>*

TESA est le leader dans la fabrication d'instruments de mesure de précision à l'usage des entreprises : colonnes de mesure, pieds à coulisse, micromètres, étalonnages, palpeurs, etc. Selon un responsable de l'entreprise, jusqu'au début des années 90, TESA avait une organisation de la production traditionnelle, une informatique de gestion peu performante et enregistrait régulièrement de lourdes pertes. Face à une situation qui se dégradait, TESA a entrepris, en milieu de décennie, de réorganiser son processus productif et son système d'information.

L'ERP MAPICS XA a été installé et assure la gestion de production de l'ensemble de l'entreprise, à partir de l'ordinateur central de l'usine de Renens située en Suisse, reliée par un réseau local (*tokenring*) aux terminaux d'atelier et de gestion des autres usines (en Suède, France, et Grande-Bretagne), elles aussi équipées du même ERP.

En ce qui concerne la production, l'entreprise est passée progressivement d'un système en flux poussés à un système en *flux tirés*, organisé sur la base de cellules

1. Site : <http://www.ilsys.fr/clients/temoignages>.

indépendantes comptant de 5 à 15 personnes, fonctionnant de façon autonome à l'image d'une micro-usine. De plus, TESA a mis en œuvre une stratégie globale de telle sorte que chaque usine travaille pour le marché mondial. Par exemple :

- l'usine de Renens fabrique les colonnes de mesure, les pieds à coulisse en acier et certains types de palpeurs, et exporte 90 % de sa production ;
- l'usine française réalise les pieds à coulisse en aluminium et les micromètres ;
- l'usine de Grande-Bretagne produit d'autres modèles de palpeurs.

L'horizon de planification pour l'approvisionnement des composants est de 14 mois. Matières premières et composants peuvent être achetés auprès d'un fournisseur (cas de l'électronique) ou fabriqués dans l'une des usines du groupe. Pour les produits finis, l'horizon de planification est de 6 semaines : il s'agit de l'horizon sur lequel sont déterminés les besoins d'assemblage.

Lorsque le site suisse reçoit une commande, par exemple de la part d'un distributeur européen, il peut, soit la prendre en charge (si le produit est fabriqué sur place), soit émettre un « besoin de production » en direction de l'usine où la pièce est fabriquée.

La *planification de la fabrication des composants non achetés* est déterminée par un système MRP classique qui produit des OF et des OA. Afin de tenir compte de certaines spécificités et d'éviter les fabrications de séries trop courtes, les lots sont généralement d'une taille multiple de 100, 500 ou 1 000 unités.

En revanche, la *planification de la fabrication des produits finis*, c'est-à-dire de l'assemblage final, s'effectue « sans OF » depuis mai 1997. La gestion des fabrications sans OF utilise le module REP de MAPICS XA. Les caractéristiques du produit expliquent ce changement. Les produits peuvent requérir entre 50 et 1 500 composants : par ailleurs, ils se déclinent selon une multitude de combinaisons possibles ; enfin, ils sont produits en petites quantités. Seule est indiquée la quantité à fabriquer par jour, ou par semaine selon le degré d'autonomie du responsable d'atelier. Chez TESA, cette nouvelle organisation a eu deux conséquences notables :

- au sein de la cellule du planning, elle a fortement réduit les activités administratives liées aux OF et les coûts associés (génération et maintenance des OF, déclaration des heures, collecte des temps, corrections des erreurs...) ;
- au sein des ateliers, elle a provoqué de multiples améliorations :
  - gain de temps dans l'ordonnancement des activités,
  - réduction des délais de livraison,
  - diminution des stocks,
  - plus grande motivation dans le travail du fait de l'enrichissement des tâches des personnels travaillant maintenant en petits groupes.

La gestion sans OF est une variante de la gestion en flux tirés, ou encore d'un système en juste-à-temps. Cette illustration, parfaitement représentative de nombreuses situations industrielles, va nous aider à proposer quelques éléments de généralisation.

### ► *Éléments théoriques sur la gestion sans OF*

Lors du chapitre 4, nous aurons l'occasion de revenir en détail sur le juste-à-temps ; il est cependant intéressant, dès à présent, de bien comprendre la différence fondamentale qui existe entre un système GPAO classique avec OF et une gestion sans OF. Tout d'abord, précisons qu'il n'existe pas une méthode systématiquement supérieure à l'autre. Le choix entre ces deux systèmes doit tenir compte du secteur et de la nature de la demande. Ainsi, les progiciels classiques de GPAO sont particulièrement bien adaptés à des productions par lots en petite ou moyenne série où les opérations d'usinage sont nombreuses, alors que les progiciels modernes intégrant des modules dits de fabrications sans OF (ou fabrications répétitives) conviennent à la production de lots de moyennes ou de grandes séries, où les opérations d'assemblage sont majoritaires<sup>1</sup>.

#### • *Caractéristiques principales d'un système avec OF*

Afin d'alléger la présentation, nous rappellerons en mode listing les principales caractéristiques d'un système en flux poussés :

- usine fabricant plusieurs produits finis différents,
- organisation des ateliers et ordonnancement par poste de charge,
- les postes de charges traitent la totalité des OF (les équipements sont communs à la plupart des produits fabriqués dans l'usine),
- le nombre de types d'OF correspond au nombre de composants qui entrent dans la fabrication d'un produit fini,
- à cause du partage des postes de charges et du nombre souvent élevé de types d'OF, il est classique de voir apparaître des conflits dans la réservation des équipements, d'où la nécessité de fréquents réordonnements en vue de concilier charge et capacité,
- la constitution de stocks et d'en-cours est inhérente au fonctionnement même du système, et s'explique notamment par :
  - les décalages temporels entre les différents niveaux de la nomenclature,
  - le respect de la capacité de chaque poste de charge (qui oblige à des lissages arrières des surcharges),
  - le cheminement des matières et produits intermédiaires d'une ressource à la suivante,
- grâce aux OF et aux déclarations d'activités effectuées par les postes de charges, il est possible de déterminer le coût réel d'un lot fabriqué, donc de déterminer par agrégation le coût réel d'un lot de produits finis (bien sûr, les coûts fixes seront imputés selon des clés de répartition préalablement calculées).

---

1. L'exemple de TESA montre que ce type de système peut aussi s'adapter à des fabrications unitaires ou par lot en petites séries. Il suggère de plus que les deux systèmes peuvent coexister au sein d'une même entreprise.

• *Caractéristiques principales d'un système sans OF*

Une gestion sans OF possède des caractéristiques bien différentes par rapport à un système classique MRP, parfois même en totale opposition :

- usine dédiée à un produit fini ou à un ensemble homogène de produits finis (différenciation),
- organisation en ligne de la production, dédiée à la fabrication d'un produit fini ou d'un sous-ensemble important de ce dernier,
- logiquement, les différents postes de travail qui composent la ligne ont fait l'objet d'un équilibrage préalable (lors de l'implantation physique de la ligne) : cet équilibrage doit permettre un travail en cadence,
- les fabrications sont planifiées en fonction des capacités et des taux de production des lignes (et non des postes de charges),
- en fonction des commandes, le responsable de la production peut procéder à des ajustements plus ou moins importants afin de respecter les délais de livraisons :
  - si les délais sont suffisants, possible constitution de stocks de produits finis,
  - en cas de retard ou de commandes à traiter en urgence, les moyens les plus classiques pour accroître la capacité d'une ligne sont : les heures supplémentaires, l'adoption temporaire d'un système avec équipes tournantes, le recours au travail temporaire, la réaffectation, de personnels sous-occupés en provenance d'autres lignes, etc.
- les composants sont postdéduts à leur point d'utilisation, selon la méthode dite de la post-consommation :
  - sur la ligne, on identifie plusieurs « points de passage »,
  - les quantités de produits fabriqués passant par chaque point de passage seront comptabilisées,
  - grâce aux nomenclatures, il est facile de déduire la quantité de composants consommée en amont du point de passage (il est possible d'affiner cette quantité en fonction d'un taux moyen de rebus),
  - les réapprovisionnements peuvent avoir lieu à l'emplacement, sur la base de la méthode *Kanban*<sup>1</sup> (manuelle ou automatique) en fonction des productions déclarées.
- la main-d'œuvre est déclarée par tâche ou par produit, ce qui implique une évaluation en coûts standards.

La concurrence oblige les industriels à chercher des méthodes de production permettant de réduire les coûts et les cycles de fabrication. Comparant « flux poussés » et « flux tirés », nous venons de montrer que dans un système MRP classique, les frais administratifs peuvent être élevés, les cycles assez longs et les calculs forts complexes.

1. Nous reviendrons en détail sur la méthode *Kanban* à l'occasion du chapitre consacré au juste-à-temps.

Lorsque l'environnement et la nature du produit s'y prêtent, il est souvent préférable d'opter pour la gestion de la fabrication sans OF, c'est-à-dire pour une production en flux tirés : la réactivité y est plus grande, les informations à collecter bien moins nombreuses et les stocks et en-cours bien plus faibles. Malgré ces différences, il ne nous semble pas que ces modes de gestion soient vraiment en opposition frontale. L'environnement et les caractéristiques du produit (ou du *process*) dictent souvent leur loi plus que ne peuvent le faire les industriels. Rappelons une conclusion établie de la théorie de la contingence : il n'y a pas une seule et unique bonne méthode en toutes circonstances.

Section

3

## ESTIMATION DE LA DEMANDE ET PRÉVISION DES BESOINS

### **REPÈRES :** Prévoir pour anticiper, une condition de survie ?

Après plusieurs années particulièrement fastes, Timberland enregistra, pour la première fois, une perte de 12 millions de \$ en 1995 et connu des niveaux de stocks considérables. Malgré cette alerte, et parce que les techniques de prévision des ventes y étaient peu développées, les usines ont continué à produire des centaines de milliers de chaussures, ignorant plus ou moins la concurrence et les nouvelles attentes des consommateurs.

Consciente des risques, la direction générale a réorganisé ses processus et nommé en 1997 un « *directeur du management logistique de la demande* », A.B. Hinton, chargé d'anticiper les mouvements du marché. Comme il le précise dans une interview : « *Au quotidien, ma responsabilité est de poursuivre le déploiement sur nos plates-formes informatiques des dernières versions des systèmes d'information portant sur l'analyse de la demande. Je suis également en charge de définir les procédures de prévision, ainsi que la façon d'interpréter les résultats fournis.* »

Source : *Logistiques Magazine*, « Timberland, en marche vers la e-chain », n° 141, oct. 1999.

Cette illustration nous montre que, quel que soit le mode de gestion des flux, poussés ou tirés, quelle que soit la taille de l'entreprise, il est toujours indispensable de *disposer de prévisions* sur la demande future des clients<sup>1</sup>, et de *savoir les interpréter*. Plus les prévisions seront fiables, plus la planification de la fabrication sera optimisée,

1. Même si l'estimation de la demande est l'élément essentiel, l'entreprise a aussi intérêt à établir des prévisions sur les prix des matières premières.

et plus l'entreprise pourra offrir des prix compétitifs à ses clients (moins de stocks et d'en-cours, donc moins de capitaux immobilisés ; moins de rupture, donc plus de clients satisfaits ; meilleure utilisation des équipements, etc.).

Même lorsqu'il s'agit d'un produit nouveau, pour lequel on ne dispose pas d'historique de ventes, il est indispensable d'estimer les ventes futures. Par une analyse des similitudes dans les comportements d'achats, un produit existant proche servira de référence. Ses historiques de ventes et l'étude de son caractère saisonnier fourniront une aide précieuse et éviteront une « myopie » fort coûteuse. Après avoir présenté les différents types de prévision et leur utilité pour l'entreprise, nous reviendrons sur les méthodes les plus utilisées et dont la connaissance constitue une sorte de base minimale, une sorte de condition nécessaire (mais pas suffisante) au fonctionnement satisfaisant de l'entreprise. Il s'agit des techniques de la régression linéaire, des moyennes mobiles, de la désaisonnalisation et du lissage exponentiel. Nous concluons par l'étude des principaux indicateurs permettant de juger de la qualité des prévisions effectuées.

## 1 Typologie et niveaux des prévisions

La plupart des phénomènes de la vie économique que l'on souhaite prévoir possèdent une double dimension :

- il existe généralement plusieurs outils susceptibles de réaliser cette prévision mais certains d'entre eux sont inadaptés alors que d'autres conviennent particulièrement bien ;
- il existe plusieurs niveaux d'approche du phénomène, ou degrés de précision, qui varient en fonction de l'objectif recherché.

Nous évoquerons successivement ces deux questions.

### 1.1 Les grandes catégories de prévision

Bien qu'il soit parfois difficile de les cloisonner aussi nettement, on trouve deux grandes catégories de méthodes : celles qui sont plutôt qualitatives, fondées sur l'expérience et le jugement, et celles qui sont plutôt quantitatives faisant systématiquement appel à l'outil statistique.

#### ► Les prévisions qualitatives

L'expérience, l'intuition, et l'opinion acquises durant des années par les professionnels de la vente (commerciaux, réseau de distribution, chefs de produits, cadres du marketing...) ne doivent pas être négligées sous prétexte qu'elles n'utilisent pas de fondement scientifique.

Les prévisions ainsi obtenues seront systématiquement corroborées par une *étude de marché* lorsque le produit est nouveau, ou lorsque la zone où l'on souhaite le

commercialiser est nouvelle. L'étude de marché consiste à poser un certain nombre de questions aux consommateurs potentiels, afin d'estimer la demande future et son évolution.

Enfin, il est possible de solliciter l'avis de professionnels, reconnus dans leur domaine pour leur expertise. C'est l'objet de la célèbre méthode Delphi, développée dans les années 50 par Olaf Helmer à la Rand Corporation. Dès lors, elle fut utilisée dans de multiples domaines, tels que le marketing<sup>1</sup>, la médecine, les programmes sociaux...

Les experts consultés doivent alors répondre à une série de questionnaires, dans le but de faire apparaître des convergences ou des divergences d'opinion. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- le nombre d'experts consultés est important, bien supérieur à une réunion classique dans le cadre d'une réflexion de groupe ;
- les divers questionnaires sont écrits, ainsi que les réponses retournées (sous anonymat), ce qui évite les effets d'entraînement constatés lors de réunions orales, au cours desquelles certains experts peuvent prendre l'ascendant sur leurs collègues ;
- avant de passer à l'étape suivante, les experts reçoivent une synthèse des précédents résultats et peuvent ainsi revoir ou améliorer leurs réponses antérieures ;
- enfin, Delphi fait un usage modéré des outils statistiques puisque ne sont généralement utilisées que la médiane et l'étendue interquartile ; l'objectif de la méthode est de réduire cette étendue par rapport à la médiane.

Malgré l'intérêt indéniable et le succès d'une telle méthode, il faut savoir qu'elle s'inscrit surtout dans une démarche de long terme. Elle servira donc à prendre des décisions stratégiques et beaucoup plus rarement des décisions tactiques, c'est pourquoi nous ne la développerons pas davantage.

### ► *Les prévisions quantitatives*

Les techniques quantitatives se divisent à leur tour en deux grandes catégories, chacune d'elles particulièrement utilisée lors d'élaboration de prévision à court ou moyen terme. Ces outils constituent donc le point de départ des méthodes de planification des besoins en composants abordées dans ce chapitre.

#### • *Les méthodes d'extrapolation dans le temps*

Il s'agit de déduire d'une chronique passée connue, les valeurs prévisibles à venir. Cela signifie que l'on prolonge hypothétiquement une tendance commerciale, une loi ou une fonction au-delà des limites où elle est objectivement constatée. Ainsi, pour que la prévision soit fiable, il faut que les paramètres qui décrivent la demande restent stables.

1. Vermette E., « La méthode Delphi pour la prévision marketing ». *Décisions Marketing*, n° 1, janvier 1994, pp. 97-101.

Les techniques de prévisions par extrapolation les plus utilisées sont :

- les *filtres linéaires* : moyenne mobile (simple ou pondérée), lissage exponentiel simple ;
- la *projection de la tendance passée* : à l'aide de la régression linéaire, exponentielle ou autre ;
- la *décomposition de la série* en éléments simples permettant notamment de mettre en évidence la saisonnalité du phénomène et sa tendance de fond ;
- les méthodes plus complexes de type Box et Jenkins, analyse spectrale...

Tableau 2.7 : Nature de la décision et prévision

<b>Nature des décisions<sup>1</sup></b>	Stratégique	Tactique	Opérationnelle	
<b>Horizon</b>	Long terme (3 ans et +)	Moyen terme (de 6 mois à 2 ans)	Court terme (quelques semaines)	Très court terme (quelques jours)
<b>Illustrations</b>	Construire une usine ou lancer un nouveau produit	Planification de la capacité PIC	Planification de la fabrication PDP	Ordonnancement Ordres de fabrication Ordres d'achat
<b>Niveau de la prévision</b>	Grandes familles de produits	Familles de produits	Produits	Produits, options et composants
<b>Degré d'agrégation</b>	Maximal	Fort	Moyen	Minimal
<b>Méthodes utilisées</b>	Études réalisées par des syndicats professionnels ou d'autres organismes (INSEE, etc.) Études de marché Méthode Delphi	Expérience Opinions des cadres Études de marché spécifiques Analyse statistique de tendance Techniques économétriques	Similitude avec un produit existant Analyse statistique de la saisonnalité Régressions et corrélations Moyenne mobile Lissage exponentiel	En fonction des prévisions précédentes, les logiciels établissent les besoins nets de chaque article Outils statistiques déjà cités pour les options

1. Cette typologie des décisions de gestion est notamment inspirée par I. Ansoff (1974) et par R. Antony *Planning and Control Systems : a Framework for Analysis*, Harvard University Press, 1965.

- *Les modèles explicatifs (ou associatifs)*

Toujours à partir de données du passé, il s'agit de déterminer les paramètres d'une fonction qui relie un phénomène à ses causes, appelées variables explicatives. On trouve ici deux familles principales de modèles :

- les modèles à équation unique où une seule relation associe la variable expliquée aux variables explicatives ; on distingue alors :
  - les modèles à variable explicative unique : régression simple
  - les modèles à variables explicatives multiples : régression multiple
- les modèles à équations simultanées ou modèles économétriques.

Qu'il s'agisse des modèles explicatifs ou d'extrapolation, il ne faut les utiliser que dans le cadre de prévisions de court terme. Ils répondent ainsi à notre objectif puisque nous cherchons à estimer les données d'entrées du PDP pour ensuite « faire tourner » le MRP.

Afin de clarifier le positionnement « court terme-long terme » des méthodes évoquées, nous avons choisi de les présenter dans un tableau de synthèse (tableau 2.7).

## 1.2 Agrégation et désagrégation des prévisions

Selon l'objectif recherché, la prévision sera différente. Lorsqu'un fabricant de vêtements souhaite prévoir les ventes de chemises, il peut le faire de multiples façons. En effet, « chemise » est une référence générique, et, à ce titre, la prévision peut correspondre à la somme de nombreuses prévisions, comme le montre la figure suivante. Il est évident que la prévision qui intéresse quotidiennement le responsable de la fabrication se situe au niveau le plus bas de cette arborescence. En revanche, pour savoir sur l'année si l'usine dispose de capacités excédentaires, il sera certainement utile de chiffrer l'élément se situant au niveau le plus élevé (figure 2.11).

Le degré d'agrégation concerne la demande des clients : plus l'unité retenue est large, plus la prévision est agrégée et concerne plutôt le long terme, alors que plus l'unité est étroite, plus la prévision est désagrégée et concerne le court terme. Le MRP suppose de disposer de données totalement désagrégées.

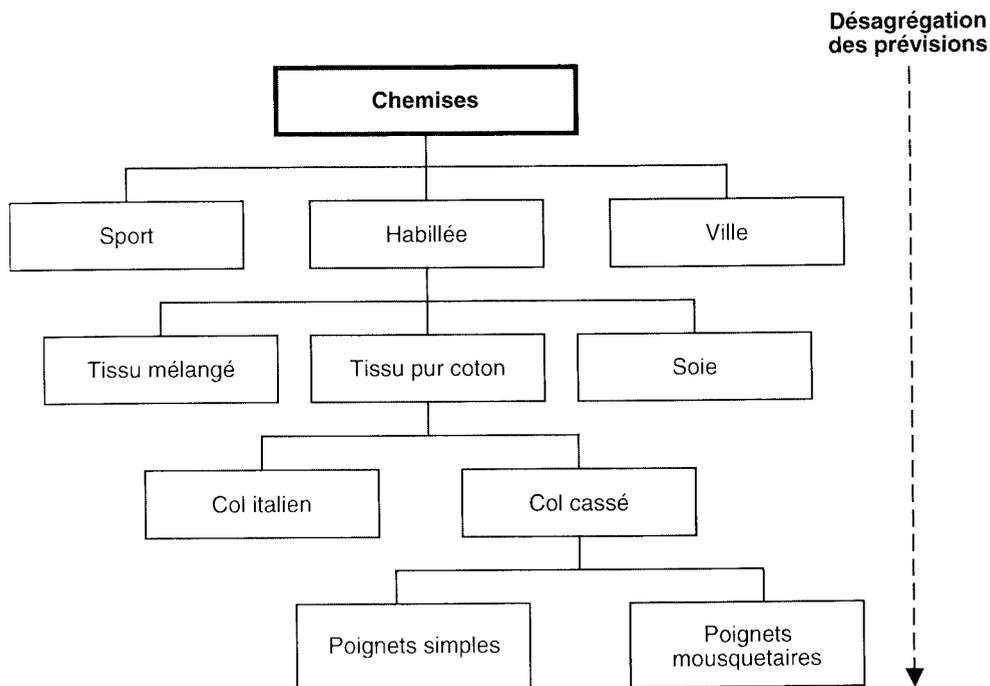


Figure 2.11 : Agrégation-désagrégation des prévisions

*Remarque* : au-dessus de « chemises », on aurait pu ajouter un niveau encore supérieur, tel que « marché européen – marché asiatique – marché nord-américain ». La prévision par zone géographique est classique, comme le montre l'exemple suivant.

## REPÈRES : Michelin : les prévisions assistées par ordinateur<sup>1</sup>

Michelin est un des leaders du marché des pneumatiques avec environ 20 % du marché mondial. Cette firme possède 80 sites de production répartis dans le monde entier, 3 centres de recherche et commercialise environ 28 000 références (dont des cartes et des guides touristiques).

Sur le plan organisationnel, l'entreprise est passée d'une structure divisionnelle par région à une structure divisionnelle par ligne de produit. Ainsi, depuis 1996, Michelin est constituée de neuf *Business Units* (pneumatiques véhicules touristes et camionnettes, poids lourds, génie civil, avions, deux roues, engins agricoles...). Chaque *Business Unit*

1. Cette illustration a été réalisée à l'aide d'informations du site <http://www.michelin.com> et d'un article de *Stratégies Logistiques*, « Michelin, sur la voie de la planification collaborative », n° 33, janv. 2001.

est divisée en plusieurs « unités opérationnelles tactiques », sortes de centres de profit par segment de marché, chacune rassemblant les fonctions de développement, de marketing, de fabrication et de vente. Par exemple, dans la *Business Unit* pneumatiques véhicules tourisme et camionnettes, on trouve notamment les « unités opérationnelles tactiques » appelées TCAR et TCRE (respectivement, pneumatiques pour le marché de remplacement nord-américain et européen).

Parce que les *Business Units* sont relativement indépendantes, elles n'ont pas toutes choisi les mêmes progiciels de *planification de la demande* et de *prévision*. Ainsi certaines utilisent le progiciel Rhythm Demand Planner de I2 Technologies alors que d'autres utilisent depuis juin 1999 le progiciel Prédicast développé par la société Aperia. Malgré l'utilisation de logiciels différents, l'objectif consiste à consolider les prévisions de la demande et à relier tous les participants entre eux.

Le responsable de la cellule de coordination Prédicast explique que les prévisions ne sont pas réalisées par pneumatique, mais selon une logique plus complexe permettant une prévision plus fine. En effet, la *clé élémentaire* de prévision est une combinaison de 5 entités, appelée « quintuplette » et présentée sous la forme d'une pyramide (présentation imposée par le logiciel) :

- le produit (ou code-article international),
- l'organisme commercial,
- le pays de vente,
- le marché concerné (des constructeurs, de remplacement...),
- un code client.

Ainsi, au niveau le plus désagrégé, on disposera par exemple de la prévision de la demande de l'entreprise cliente X, concernant les pneumatiques de remplacement modèle Y, vendus dans le pays Z. Sans entrer dans le détail, voici les caractéristiques principales du logiciel de prévision Prédicast utilisé par Michelin :

- détection automatique des événements perturbateurs des ventes grâce à un système expert ;
- mesure de l'impact des actions marketing ;
- sur les historiques des ventes, on trouve les fonctions suivantes :
  - correction des jours ouvrés,
  - analyse de la saisonnalité,
  - tendance générale,
  - part de chaque mois en % de l'année...
- liaison avec Excel ou avec des ERP (Baan, SAP, Mapics...) ;
- création de pyramides dynamiques afin d'utiliser les niveaux de prévision (exemple de la quintuplette de Michelin) et de permettre agrégation et désagrégation automatique des éléments de la pyramide.

Ce que l'on appelle la « gestion des hiérarchies » est donc assurée par ce que Prédicast nomme pyramide dynamique. Elle a la forme générale suivante :

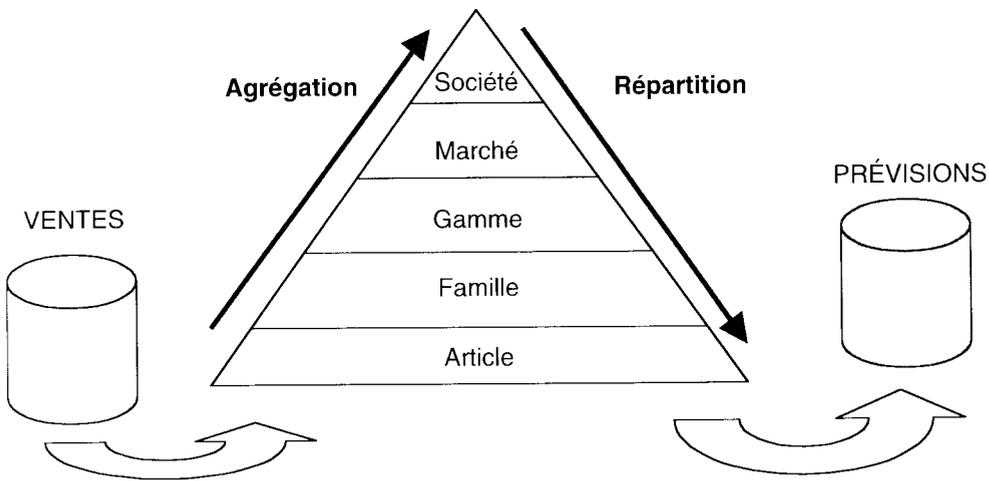


Figure 2.12 : Pyramide dynamique de Prédicast

## 2 Prédiction et droite de régression linéaire

Une des méthodes les plus utilisées pour élaborer des prévisions consiste à utiliser la droite de régression, ou droite des moindres carrés. Elle est utilisée aussi bien dans le cas d'analyses extrapolatoires, que dans le cas de modèles associatifs. Dans le 1<sup>er</sup> cas, elle suppose l'existence d'une tendance (ou *trend*). Bien que particulièrement simple à mettre en œuvre, elle peut être utilement complétée par certains outils plus élaborés.

### 2.1 La technique de base

À partir d'une série de valeurs observées notées  $(x_i ; y_i)$ , il s'agit de déterminer les coefficients  $a$  et  $b$  de la droite passant le plus près de tous les points. Une liaison fonctionnelle du type s'établit donc entre  $x$  et  $y$  ; on a l'habitude de dire que  $x$  est la variable explicative et  $y$  la variable expliquée par le modèle :  $y = ax + b$

Les valeurs  $a$  et  $b$  sont telles que la somme des carrés des distances entre la valeur observée  $y$  et la valeur fournie par la droite pour chaque valeur de  $x$  est minimale. C'est pourquoi cette droite porte le nom de « droite des moindres carrés ». De nombreux manuels de statistiques proposent des démonstrations de ce calcul. Nous admettrons les résultats suivants, au demeurant fort connus :

Les coefficients de la droite des moindres carrés sont :

$$a = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x}$$

Afin de faciliter la compréhension de ce qui précède, mais surtout des explications qui vont suivre, il est préférable d'avoir le graphique suivant parfaitement à l'esprit.

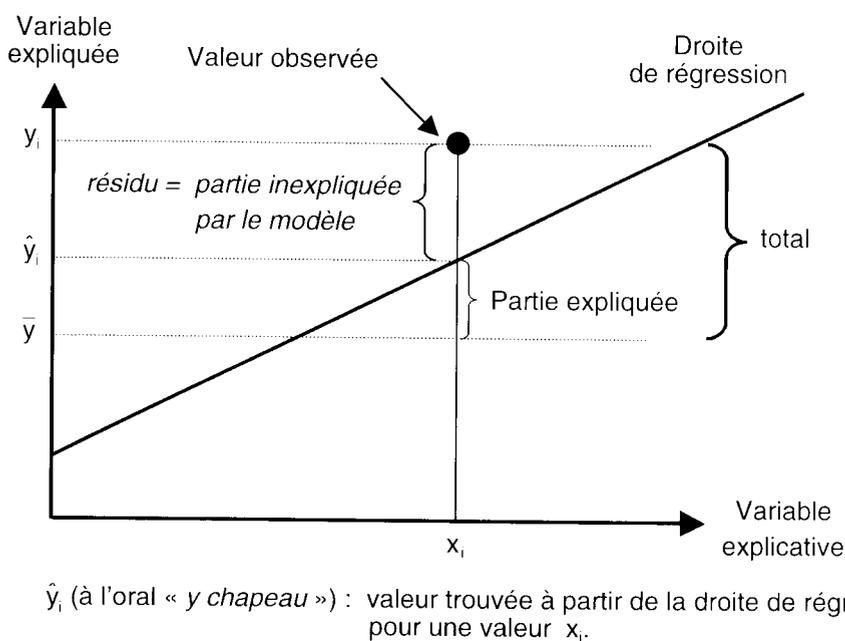


Figure 2.13 : Droite de régression des moindres carrés

Intéressons-nous davantage à l'étude du modèle de prévision que la droite des moindres carrés représente et montrons qu'il existe un moyen d'en tester la qualité. Ce moyen s'appuie sur ce que l'on appelle « l'analyse de la variance », c'est-à-dire sur l'analyse de la dispersion des observations, en tenant compte de la droite d'ajustement.

Comme nous le disions, la volonté de procéder à un ajustement linéaire implique que l'on croit en l'existence d'une *relation* de cause à effet entre la variable explicative  $x$  et la variable expliquée  $y$  ; c'est pourquoi il est normal de considérer que cette relation doit expliquer une partie de la variance de  $y$ , notée  $\sigma_y^2$  et égale à :

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Ainsi, la *qualité* du modèle, c'est-à-dire, l'intérêt de l'ajustement par la droite des moindres carrés d'une série d'observations, peut être mesurée par une variance qui prendra comme référence la valeur ajustée  $\hat{y}_i$  à la place de la valeur observée. Il s'agit de la variance expliquée<sup>1</sup> :

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

Plus la variance expliquée par la régression est proche de la variance totale de y, meilleur sera le modèle. Afin de disposer d'un indicateur « relatif », on calculera le *coefficient de détermination*, qui correspond au rapport entre la variance expliquée et la variance totale :

$$r^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_y^2}$$

Par exemple, trouver un coefficient égal à 0,75 signifie que le modèle de régression linéaire simple explique 75 % de la dispersion observée. Parce que le numérateur et le dénominateur sont des carrés, ce coefficient est toujours positif (ou nul) ; parce que la variance expliquée est forcément inférieure ou égale à la variance totale, ce coefficient est toujours inférieur ou égal à l'unité.

Malgré la simplicité et le caractère « parlant » du coefficient de détermination, il lui est souvent préféré le coefficient de corrélation<sup>2</sup>. Ce dernier est systématiquement présent dans les modules consacrés à la régression linéaire, inclus dans les progiciels de prévision de la demande. Il se calcule de la façon suivante :

$$\rho = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2}}$$

1. La différence entre la variance totale et la variance expliquée fournit ce que l'on appelle la variance

résiduelle :  $\sigma_r^2 = (1/n) \sum_{i=1}^n e_i^2 = (1/n) \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$

2. Le carré du coefficient de corrélation donne le coefficient de détermination.

Sa facilité de mise en œuvre, sa présence dans tous les logiciels de prévision, ainsi que le caractère quasi universel de l'étude de la droite des moindres carrés dans les cycles scolaires et universitaires contribuent souvent à en faire un outil dangereux. Plusieurs raisons doivent être évoquées :

- absolument toutes les séries de couples d'observations  $(x_i; y_i)$  peuvent faire l'objet d'un ajustement linéaire ; mais tout ajustement n'a pas forcément un sens en terme de « relation de cause à effet ».
- même lorsque l'ajustement a un sens, il faut être très prudent quant aux conclusions et aux éventuelles prévisions si le coefficient de détermination n'est pas suffisamment proche de l'unité.
- enfin, ce n'est pas parce qu'un coefficient de détermination (ou de corrélation) est nul ou voisin de zéro, qu'il n'y a pas de relation entre  $x$  et  $y$ . Il existe en effet des formes non linéaires de liaisons qui ne doivent pas être négligées (exponentielle, puissance, parabolique...). La plupart des logiciels proposent plusieurs types de modèles, linéaires et non linéaires, que l'utilisateur choisira en fonction de ce qu'il constate sur la représentation graphique.

Dès lors que toutes les précautions ont été prises, la droite peut fournir une prévision pour une valeur donnée de  $x$  (modèle associatif) ou pour une période future (modèle d'extrapolation). Dans ce dernier cas, la variable  $x$  est souvent remplacée par la lettre  $t$  afin d'indiquer que le temps est le facteur explicatif,  $t$  étant une date ou un n° de période.

## 2.2 Détermination d'un intervalle de prévision

Afin d'éviter d'utiliser un ajustement linéaire manquant de « crédibilité », il est aussi possible de construire un intervalle de confiance :

- de chaque coefficient  $a$  et  $b$  de la droite de régression ;
- du coefficient de corrélation ;
- d'une valeur ajustée.

Dans tous les cas, les hypothèses sous-jacentes sont nombreuses et demanderaient d'importants développements, qui sortent du cadre de cet ouvrage<sup>1</sup> ; c'est pourquoi nous n'indiquerons que le résultat final, en nous plaçant dans le cas d'un intervalle de confiance d'une valeur ajustée.

Ainsi, au lieu de ne disposer que d'une valeur unique pour la prévision, on disposera d'un intervalle qui devrait abriter la valeur réelle, avec un certain pourcentage de chance d'avoir raison. Cet intervalle est parfois appelé « intervalle de prédiction ».

L'intervalle de confiance de l'estimation de  $y_k$  obtenue grâce à la droite des moindres carrés pour une valeur  $x_k$  donnée s'écrit :

1. En revanche, on pourra consulter certains ouvrages de statistiques et notamment l'excellent : *Statistiques appliquées à la gestion*, de V. Giard, 1995, chapitre VI.

$$\left[ y_k - \left( St_{n-2}^{\frac{1}{2}(1-\alpha)\%} * \sigma_k \right); y_k + \left( St_{n-2}^{\frac{1}{2}(1-\alpha)\%} * \sigma_k \right) \right]$$

avec :

St : valeur extraite de la distribution de Student à  $n - 2$  degrés de liberté pour un niveau de confiance de  $\alpha$  %.

et :

$$\sigma_k = \sigma_R * \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_k - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

Sachant que  $\sigma_R$  est ce que l'on pourrait appeler l'écart type de la régression, c'est-à-dire la mesure de la dispersion des données autour de la droite des moindres carrés :

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n c_i^2}{n - 2}}$$

### 2.3 Étude de cas

À l'issue d'une précédente campagne publicitaire, les usines de l'entreprise américaine Marketfile se sont trouvées fortement désorganisées à cause d'un afflux non prévu de commandes. Afin de mieux planifier la fabrication du produit en question, cette entreprise a décidé d'effectuer un test dans 12 grandes villes de la côte Est<sup>1</sup> afin de mesurer l'impact d'un spot publicitaire télévisé sur le volume de ses ventes. La durée de la campagne est de 7 jours. Le coût de 5 passages durant cette période s'élève à 48 000 \$ et la chaîne ne pratique pas de tarifs préférentiels lorsque le nombre de passages augmente (toujours par multiples de cinq). Marketfile procède de la façon suivante :

- elle comptabilise les quantités vendues pendant 3 mois avant le début de la publicité ;
- elle mesure ensuite les quantités vendues durant les 3 mois qui suivent la diffusion ;
- l'impact de la campagne publicitaire se mesure par l'augmentation en pourcentage du volume des ventes entre ces deux périodes ;

1. On fait l'hypothèse, certes un peu exagérée, que ces villes possèdent des profils assez proches, et sont donc susceptibles d'être comparées. On constate que New York n'a pas été intégrée du fait de sa spécificité (mégalopole).

- elle décide de fixer, au hasard, un nombre différent de passages dans chacune des 12 villes.

Voici les résultats que l'entreprise compte exploiter lors de prochaines campagnes publicitaires :

Tableau 2.8 : Impact de la campagne publicitaire sur les ventes (en volume)

Villes retenues	Nombre de passages	Augmentation des volumes (en %)	Villes retenues	Nombre de passages	Augmentation des volumes (en %)
Albany	5	2	Norfolk	10	18
Baltimore	35	17	Philadelphie	30	10
Boston	15	5	Pittsburg	25	12
Buffalo	40	16	Providence	55	24
Cincinnati	20	8	Richmond	45	18
Newark	50	6	Washington	60	32

On laisse le soin au lecteur de vérifier les résultats suivants à l'aide d'un tableur ou par tout autre moyen :

- moyenne du nombre de passages :  $390/12 = 32,50$ ,
- $\sum(x_i - 32,5)^2 = 3\,575$ ,
- coefficients de la droite de régression :  $a = 0,32$ ,  $b = 3,55$ ,
- coefficient de corrélation linéaire :  $0,67$ ,
- coefficient de détermination :  $0,454$ ,
- $\sum(e_i)^2 = \sum(y_i - \hat{y}_i)^2 = 444,10$ ,
- écart type de la régression :  $\sigma_R = 6,664$ ,
- valeur du  $t$  de Student (à 10 degrés de liberté, au seuil de 95 %) :  $2,228$ .

Le coefficient de détermination, assez faible, nous indique que le modèle retenu (c'est-à-dire la droite des moindres carrés) n'explique que 45 % de la dispersion observée. Cela suggère la prudence quant aux prévisions réalisées à partir de ce modèle. Ainsi, une utilisation trop rapide de la droite d'ajustement peut conduire le décideur à être imprudent. Penser que 30 spots publicitaires, c'est-à-dire une dépense de 288 000 \$, conduiront à une augmentation de 13,15 % des ventes ( $13,15 = 30 * 0,32 + 3,55$ ) est abusif car il y a 95 % de chances que l'accroissement soit en réalité compris dans un intervalle égal à  $[-2,3 \% ; +28,6 \%)^1$ . Ce qui veut

1. Détails des calculs :  $\sigma_R = 6,664$  et  $\sigma_k = \sigma_R \times 1,04167 = 6,94$

$IC_{0,95} (30) = [13,15 - (2,228 \times 6,94) ; 13,15 + (2,228 \times 6,94)] = [-2,3 ; +28,6]$ .

dire que la hausse peut très bien être particulièrement faible, voire négative. Il y a de plus 5 % de chance de se tromper, c'est-à-dire de constater une valeur inférieure à - 2,3 % ou supérieure à 28,6 % !

En considérant un nouveau seuil de confiance, on pourrait ajouter qu'il y a une chance sur deux (on travaille au seuil de 50 %) que l'augmentation soit comprise entre + 8,3 % et + 18,1 %. Il y a malheureusement aussi une chance sur deux pour que la valeur se situe en dehors de ces bornes !

Ces intervalles peuvent guider le décideur en lui permettant de mieux évaluer les coûts et les bénéfices. Faut-il prendre le risque de dépenser 288 000 \$ ? Pour quels bénéfices ? Il ne faudra pas négliger de calculer les différents indicateurs étudiés dans le paragraphe 5 qui s'intéressent à la qualité de la prévision.

Il est possible de calculer un intervalle de prédiction pour toutes les valeurs  $x_i$  possibles ; cela permet d'obtenir deux courbes qui « encadrent » la droite de régression et qui fournissent donc une information supplémentaire au décideur.

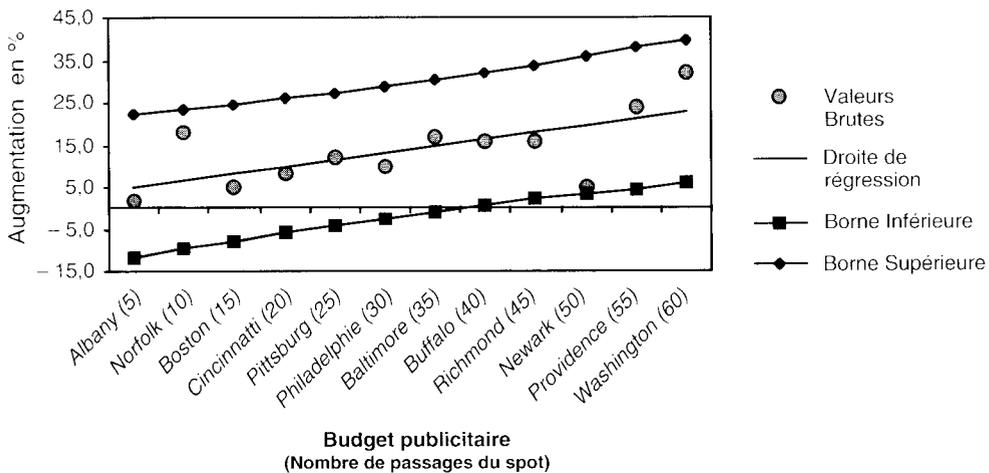


Figure 2.14 : Intervalle de confiance à 95 % de la prévision

La figure 2.14 permet de mettre en évidence quelques spécificités. Norfolk et Newark sont des villes qui doivent retenir l'attention. Soit il s'agit d'une erreur de mesure, soit Norfolk est une ville réceptive à la publicité et Newark, très peu intéressée. Il faudrait en chercher les raisons fondamentales. Peut-être serait-il sage de les étudier séparément et de réitérer les calculs pour les 10 autres villes. Il ne faut pas être grand clerc pour prévoir une sensible amélioration du caractère explicatif du modèle. Effectivement, on trouve un coefficient de détermination de 0,94 ; sans ces deux villes, le modèle explique donc 94 % de la dispersion des observations.

## 2.4 Utilisation du tableur Excel

Imaginons que les valeurs observées soient placées en colonne, de B5 à B16 pour la variable explicative ( $x_i$ ) et de C5 à C16 pour la variable expliquée ( $y_i$ ). Les formules d'Excel facilitent les calculs ; nous vous encourageons à les utiliser à des fins de vérification et d'entraînement.

On écrira dans une cellule...	Pour obtenir...
« = PENTE (C5:C16;B5:B16) »	le coefficient directeur $a$ de la droite des moindres carrés
« = ORDONNEE.ORIGINE (C5:C16;B5:B16) »	l'ordonnée à l'origine $b$ de la droite des moindres carrés
« = COEFFICIENT.CORRELATION (C5:C16;B5:B16) »	le coefficient de corrélation linéaire $\rho$
« =COEFFICIENT.DETERMINATION (C5:C16;B5:B16) »	le coefficient de détermination $r^2$
« = PREVISION (30;C5:C16;B5:B16) »	la prévision (ou la valeur ajustée) lorsque la valeur de la variable explicative pour laquelle on souhaite obtenir le résultat est égale à 30

Outre ces formules, Excel permet aussi d'obtenir la plupart de ces résultats à l'aide de l'utilitaire d'analyse « régression linéaire » se trouvant dans le menu « outils ». Cet utilitaire fournit d'ailleurs de précieux renseignements, exploitables à la condition d'avoir quelques connaissances en statistiques, et notamment en analyse de variance.

Dans le cas de séries chronologiques<sup>1</sup>, l'utilisation d'une droite de régression linéaire (ou d'un modèle connexe : fonction exponentielle ou puissance) peut être utile à la mise en évidence de la tendance de moyen-long terme, mais n'est pas suffisante pour établir les plans de production au quotidien. C'est pourquoi nous allons étudier maintenant les techniques de base permettant de déceler d'éventuelles saisonnalités dans la demande et de proposer des prévisions adaptées.

## 3 Prévision dans le cas d'une demande avec saisonnalité

La demande de nombreux biens de consommation fait l'objet de variations saisonnières, c'est-à-dire de variations qui se répètent, presque à l'identique, à la même période. Pour des produits aussi différents que les jouets, les glaces, les crèmes

1. Une série chronologique, chronique ou temporelle correspond simplement à une série statistique étudiée en fonction du temps.

solaires, les chaussures ou les chocolats, cela paraît évident ; mais il en existe d'autres pour lesquels la saisonnalité est forte et où il est indispensable de disposer d'outils spécifiques. Par exemple, pour les pneumatiques, on constate des effets de saisonnalité marqués à cause des saisons (pneu neige), des périodes de départ en vacances et des périodes de promotions.

### 3.1 Composantes fondamentales et mise en évidence graphique de la saisonnalité

#### ► Composantes et schémas de composition

Une série temporelle est le résultat de l'agrégation de trois composantes<sup>1</sup> fondamentales :

- la *composante tendancielle* ou *trend* (T) : elle représente l'évolution à moyen et/ou long terme du phénomène étudié. Fort logiquement, le *trend* correspond donc à la valeur moyenne du phénomène ;
- la *composante saisonnière* (S) : les variations saisonnières s'expliquent souvent par la présence de facteurs climatiques, de coutumes, de dispositions réglementaires et de congés. Dans la mesure où la tendance est égale à la valeur moyenne, par construction, il y aura compensation entre les variations saisonnières d'une même période ;
- la *composante résiduelle* ou accidentelle (R) : elle regroupe deux catégories d'éléments :
  - une composante identifiable : il s'agit d'événements exceptionnels tels que les grèves, les tempêtes et autres incidents climatiques, les crises (ex : la production agroalimentaire a subi la crise de la vache folle) ;
  - une composante non identifiable, aléatoire : il s'agit de variations aléatoires imprévisibles que les composantes précédentes ne peuvent intégrer<sup>2</sup>.

Afin d'éviter que la composante résiduelle identifiable ne perturbe les prévisions, on veillera à *corriger* la série brute. On dit que l'on *redresse* la série chronologique ; il serait dommage d'effectuer une prévision sur la base de valeurs exceptionnelles, n'ayant que peu de chance de se reproduire.

1. Pour être totalement rigoureux, il faudrait ajouter la composante cyclique de moyen terme ; cependant, la plupart des modèles l'assimilent au *trend* dans la mesure où les statistiques de ventes ne portent généralement pas sur des périodes de plus de 10 ans. C'est d'autant plus vrai de nos jours dans la mesure où la durée de vie des produits se raccourcit considérablement.

2. Sur un plan théorique, on fait l'hypothèse que ces variations, parfois positives, parfois négatives par rapport au *trend*, se compensent et ont une faible dispersion.

On distingue deux *schémas de composition*, selon l'évolution de l'amplitude des variations saisonnières :

<b>Schéma additif</b>	$Y_t = T_t + S_t + R_t$	Il correspond à un mouvement saisonnier dont la composition avec le <i>trend</i> conduit à une progression d'amplitude constante
<b>Schéma multiplicatif</b>	$Y_t = T_t \cdot S_t \cdot R_t$	Il suppose une amplitude des variations saisonnières croissante avec le temps

Afin de vérifier si la chronique connaît une saisonnalité, et choisir le schéma de composition le mieux adapté à l'évolution du phénomène étudié, il est toujours préférable d'effectuer une représentation graphique. Une superposition des chroniques annuelles apporte souvent un éclairage suffisant.

► **Application chiffrée : informations de base**

Soit l'historique des ventes de pneumatiques modèle PPX de l'entreprise ADDER, sur une période de 5 années.

Tableau 2.9 : Historique des ventes de pneumatiques PPX

	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Janv.</b>	50,0	55,0	66,0	85,8	120,1
<b>Fév.</b>	60,0	66,0	79,2	103,0	144,1
<b>Mars</b>	50,0	55,0	66,0	85,8	120,1
<b>Avril</b>	60,0	66,0	79,2	103,0	144,1
<b>Mai</b>	80,0	88,0	105,6	137,3	192,2
<b>Juin</b>	200,0	220,0	264,0	343,2	480,5
<b>Juil.</b>	100,0	110,0	132,0	171,6	240,2
<b>Août</b>	60,0	66,0	79,2	103,0	144,1
<b>Sept.</b>	50,0	55,0	66,0	85,8	120,1
<b>Oct.</b>	40,0	44,0	52,8	68,6	96,1
<b>Nov.</b>	50,0	55,0	66,0	85,8	120,1
<b>Déc.</b>	50,0	55,0	66,0	85,8	120,1

Le graphique suivant permet de conclure :

- en une forte saisonnalité, du fait des pics de ventes en juin ;
- en l'intérêt d'un schéma de décomposition multiplicatif : de la courbe la plus basse à la plus haute, les écarts entre les courbes successives augmentent à taux croissant ;
- en l'absence d'élément exceptionnel : aucun redressement n'est à effectuer et les valeurs brutes peuvent donc être étudiées en l'état.

Pour de multiples raisons (et notamment de place), nous ne présenterons que le schéma multiplicatif, laissant le soin au lecteur intéressé d'approfondir la réflexion par l'étude du schéma additif.

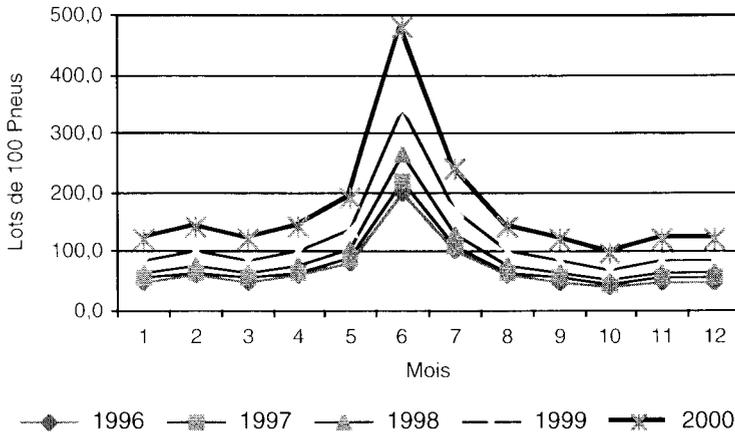


Figure 2.15 : Chroniques superposées des ventes de pneus

### 3.2 Désaisonnalisation et prévision à partir de la méthode de la moyenne mobile

Pour effectuer de bonnes prévisions sur des séries chronologiques marquées par des variations saisonnières, il faut préalablement « éliminer » l'influence des dites variations. Outre cet intérêt, la désaisonnalisation permet tout simplement de mieux comprendre l'évolution d'un phénomène. Deux méthodes permettent de réaliser cette opération : l'une utilise la technique de la moyenne mobile, l'autre la droite des moindres carrés.

#### ► Désaisonnalisation par la méthode des moyennes mobiles

La moyenne mobile est un « filtre linéaire » qui transforme une série chronologique Y (valeurs brutes) en une autre série chronologique MM dont la particularité est

de correspondre à une approximation de la tendance de  $Y$ . Le filtre a pour effet de lisser la série  $Y$  : on parle aussi d'effet de rabot ou d'écrêtage.

En effectuant la moyenne des valeurs brutes pour une année entière, on élimine les variations saisonnières et aléatoires. La technique de la moyenne mobile consiste à répéter ce calcul pour tout groupe de  $p$  données consécutives ( $p = 12$  pour des valeurs mensuelles), en partant de la 1<sup>re</sup> donnée et en décalant d'une valeur à chaque fois. Par exemple :

$$MM_{6,5} = \frac{\sum_{t=1}^{12} Y_t}{12} = \frac{50 + 60 + 50 + \dots + 50 + 50}{12} = 70,83$$

$$MM_{7,5} = \frac{\sum_{t=2}^{13} Y_t}{12} = \frac{60 + 50 + \dots + 50 + 50 + 55}{12} = 71,25$$

L'indice 6,5 signifie que la moyenne mobile est placée entre juin (mois n° 6) et juillet (mois n° 7). Ainsi, lorsque  $p$  est pair, et c'est souvent le cas, les valeurs de la nouvelle série ne peuvent pas être affectées aux dates d'observation et obligent à calculer de nouveau une moyenne mobile sur la série précédente. Ce second calcul fournit la moyenne mobile centrée<sup>1</sup>.

$$MMC_7 = \frac{MM_{6,5} + MM_{7,5}}{2} = \frac{Y_1 + \left[ 2 \cdot \sum_{t=2}^{12} Y_t \right] + Y_{13}}{24} = 71,04$$

Le tableau 2.10 présente la série complète des MMC : nous avons donc là une bonne approximation de la tendance suivie par le phénomène.

Comme il s'agit d'un modèle multiplicatif, pour déterminer les coefficients saisonniers, on peut écrire :  $Y_t = T_t S_t R_t$ . Puisque la tendance est fournie par les moyennes mobiles centrées, l'égalité précédente est équivalente à :  $Y_t = MMC_t S_t R_t$

Finalement, on obtient :  $S_t R_t = Y_t / MMC_t$

Ainsi, pour chaque mois où l'on dispose de la valeur MMC, la combinaison des variations saisonnières et résiduelles s'obtient par le ratio de la valeur brute à la moyenne mobile centrée. Or, par hypothèse, les fluctuations résiduelles se compensent ; pour les éliminer, il suffira de calculer la moyenne de toutes les valeurs  $S_t R_t$  associées à un mois donné, et ce pour chaque mois de l'année.

1. Le fait de calculer une MMC conduit à perdre des informations, et notamment à ne pas disposer de valeurs pour la tendance sur les dernières périodes : par exemple, lorsque la période du mouvement saisonnier est mensuelle, on perd 12 éléments, dont 6 à la fin (partie grisée du tableau).

Tableau 2.10 : Moyennes mobiles centrées

	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Janv.</b>		75,4	88,0	111,7	153,0
<b>Fév.</b>		76,1	89,5	114,3	157,6
<b>Mars</b>		76,5	90,5	116,1	160,7
<b>Avril</b>		76,9	91,3	117,6	163,3
<b>Mai</b>		77,3	92,1	119,1	165,9
<b>Juin</b>		77,7	93,0	120,7	168,7
<b>Juil.</b>	71,0	78,4	94,3	123,0	
<b>Août</b>	71,5	79,4	96,1	126,1	
<b>Sept.</b>	72,0	80,4	98,0	129,3	
<b>Oct.</b>	72,4	81,4	99,8	132,4	
<b>Nov.</b>	73,0	82,7	102,1	136,4	
<b>Déc.</b>	74,2	85,3	106,7	144,4	

Le tableau 2.11 fournit les rapports intermédiaires  $S_t R_t$  (colonnes 1 à 5), puis les coefficients saisonniers définitifs (col. 7), après avoir « rectifié »<sup>1</sup> les coefficients moyens (col. 6) de telle sorte que leur somme soit bien égale à 12. Les coefficients saisonniers fournissent de précieux renseignements sur la force de la saisonnalité et relativisent parfois des appréciations graphiques trop rapides. Dire que le coefficient saisonnier de juin est égal à 2,845 signifie que les ventes du mois de juin sont approximativement 2,845 fois supérieures aux ventes moyennes de l'année.

Une fois que l'on dispose des coefficients saisonniers, il est possible de calculer les valeurs désaisonnalisées ( $VD_t$ ) ; pour cela, il suffit de diviser chaque valeur brute par le coefficient saisonnier du mois correspondant :  $VD_t = Y_t / S_m$

Il est toujours intéressant de visualiser l'évolution des valeurs désaisonnalisées sur un graphique. La plupart des progiciels de prévision offre des outils graphiques perfectionnés, ayant généralement un grand succès (cf. figure 2.16).

### ► *Élaboration d'une prévision*

Le principe général consiste à déterminer la prévision de la valeur brute (par exemple, celle de janvier 2001) en prenant comme base la tendance, prolongée artificiellement, et corrigée par le coefficient saisonnier adéquat, c'est-à-dire du mois

1. Il s'agit du principe de « conservation des aires » que l'on admettra et dont l'influence est minime.

Tableau 2.11 : Coefficients saisonniers

	Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7
	1996	1997	1998	1999	2000	Moyenne	S <sub>m</sub>
<b>J</b>		0,729	0,750	0,768	0,785	0,758	0,760
<b>F</b>		0,867	0,885	0,901	0,915	0,892	0,894
<b>M</b>		0,719	0,729	0,739	0,747	0,734	0,735
<b>A</b>		0,858	0,867	0,876	0,883	0,871	0,873
<b>M</b>		1,139	1,146	1,153	1,159	1,149	1,151
<b>J</b>		2,831	2,837	2,843	2,847	2,840	2,845
<b>J</b>	<b>1,408*</b>	1,404	1,399	1,395		1,401**	1,404***
<b>A</b>	0,839	0,831	0,824	0,816		0,828	0,829
<b>S</b>	0,695	0,684	0,674	0,664		0,679	0,680
<b>O</b>	0,552	0,541	0,529	0,518		0,535	0,536
<b>N</b>	0,685	0,665	0,647	0,629		0,656	0,658
<b>D</b>	0,674	0,645	0,619	0,594		0,633	0,634
						11,976	12,000

\* 1,408 = 100/71,04

\*\* 1,401 = (1,408 + 1,404 + 1,399 + 1,395)/4

\*\*\* S<sub>7</sub> = 1,404 = 1,401 × (12/11,976)

Tableau 2.12 : Valeurs desaisonnalisées

	1996	1997	1998	1999	2000
<b>J</b>	65,8	72,4	86,9	112,9	158,1
<b>F</b>	67,1	73,8	88,6	115,2	161,3
<b>M</b>	68,0	74,8	89,8	116,7	163,4
<b>A</b>	68,8	75,6	90,8	118,0	165,2
<b>M</b>	69,5	76,4	91,7	119,2	166,9
<b>J</b>	70,3	77,3	92,8	120,6	168,9
<b>J</b>	71,2	78,3	94,0	122,2	171,1
<b>A</b>	72,3	79,6	95,5	124,2	173,8
<b>S</b>	73,5	80,8	97,0	126,1	176,5
<b>O</b>	74,6	82,1	98,5	128,0	179,2
<b>N</b>	76,0	83,6	100,4	130,5	182,6
<b>D</b>	78,8	86,7	104,1	135,3	189,4

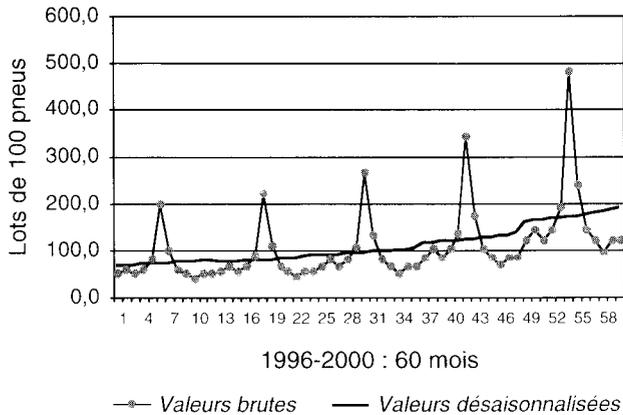


Figure 2.16 : Méthode des moyennes mobiles – Valeurs désaisonnalisées

que l'on cherche à prévoir. Cependant, comme nous le précisons plus haut, la méthode des moyennes mobiles nous prive des dernières valeurs pour la tendance. Faisant l'hypothèse de variations résiduelles faibles, nous pouvons prendre la série des valeurs désaisonnalisées comme approximation de la série des moyennes mobiles, donc de la tendance. À partir de là, plusieurs possibilités s'offrent au prévisionniste. Soit il ajuste la série désaisonnalisée par une droite pour obtenir la valeur en  $t + 1$ , soit il effectue la moyenne des dernières valeurs désaisonnalisées.

Quelle que soit sa décision, il doit choisir jusqu'où remonter dans le passé. La droite d'ajustement doit-elle se construire sur les valeurs désaisonnalisées de la dernière année, des deux dernières années... ? La moyenne doit-elle être calculée sur 2, 3, 4..., 12, 24 ou 36 valeurs. Par la pondération, cette moyenne doit-elle donner plus d'importance aux valeurs les plus récentes ? Nous pensons qu'il n'y a pas une unique bonne réponse à ces questions, mais que les choix dépendent de la spécificité de chaque situation.

Qu'il s'agisse d'une droite de régression ou d'une moyenne, plus la prévision s'établit en incorporant un nombre important de valeurs passées, plus le prévisionniste prendra le risque de ne pas percevoir une modification récente de la tendance ; en contrepartie, il élimine mieux les conséquences des variations exceptionnelles.

Nous présentons en tableau quelques prévisions possibles pour les ventes de pneus PPX de janvier 2001 (voir tableau 2.13).

Tableau 2.13 : Prévisions : ventes en janvier 2001

Méthode	Nombre de valeurs passées prises en compte	Valeur désaisonnalisée prévue	Valeur brute prévue avec un coef. sais. égal à 0,760	Crédibilité de la prévision
Moyenne	6	178,8	136	Correcte mais risquée
	12	171,4	130	Possible
	24	146,9	112	Très faible*
Droite de régression  (les coefficients a et b sont donnés)	6	190,9 a = 3,45 ; b = 166,7	145	Correcte mais risquée
	12	187,9 a = 2,54 ; b = 154,85	143	Correcte et sans trop de risque
	24	192,0 a = 3,61 ; b = 101,80	146	Forte**

\* Car la prévision est inférieure à la valeur de janvier 2000, alors que l'historique montre une hausse systématique des valeurs de janvier depuis 5 ans.

\*\* Car le phénomène est effectivement en croissance rapide sur ces deux dernières années : la pente de la droite de régression le montre.

### 3.3 Désaisonnalisation et prévision à l'aide de la droite des moindres carrés

Le raisonnement est identique à ce qui précède ; seule change la technique d'élaboration de la tendance. C'est la droite des moindres carrés, c'est-à-dire l'ajustement linéaire entre le temps et les valeurs brutes, qui représentera la tendance. Mais ici, contrairement à ce que nous précisons dans le paragraphe consacré à la régression, l'objectif n'est pas de juger le modèle sur la base de la qualité de la régression ; en effet, à cause de la saisonnalité, la corrélation entre le temps et les valeurs brutes sera généralement faible.

#### ► Désaisonnalisation à l'aide de la droite des moindres carrés

Il faut donc commencer par ajuster le temps (t allant de 1 à 60) aux valeurs brutes afin de déterminer les coefficients de la droite des moindres carrés, cette droite étant l'expression de l'évolution tendancielle du phénomène. On trouve facilement :

$$a = 1,8615 \text{ et } b = 50,02. \text{ Ainsi, on peut écrire : } YA_t = (1,8615 \times t) + 50,02$$

À partir du tableau 2.14 et pour chaque mois, on détermine le rapport entre la valeur brute et la valeur ajustée. La moyenne des rapports  $Y_t/YA_t$  de chaque mois permet d'obtenir le coefficient saisonnier définitif du mois concerné (dernière colonne du tableau 2.15).

Tableau 2.14 : Valeurs ajustées  $Y_A$

	1996	1997	1998	1999	2000
<b>J</b>	51,88	74,22	96,56	118,89	141,23
<b>F</b>	53,74	76,08	98,42	120,76	143,09
<b>M</b>	55,60	77,94	100,28	122,62	144,95
<b>A</b>	57,46	79,80	102,14	124,48	146,82
<b>M</b>	59,33	81,66	104,00	126,34	148,68
<b>J</b>	61,19	83,53	105,86	128,20	150,54
<b>J</b>	63,05	85,39	107,72	130,06	152,40
<b>A</b>	64,91	87,25	109,59	131,92	154,26
<b>S</b>	66,77	89,11	111,45	133,79	156,12
<b>O</b>	68,63	90,97	113,31	135,65	157,99
<b>N</b>	70,49	92,83	115,17	137,51	159,85
<b>D</b>	72,36	94,69	117,03	139,37	161,71

Tableau 2.15 : Coefficients saisonniers

	1996	1997	1998	1999	2000	Moyenne	S
<b>J</b>	0,964	0,741	0,684	0,722	0,851	0,792	0,785
<b>F</b>	1,116	0,868	0,805	0,853	1,007	0,930	0,922
<b>M</b>	0,899	0,706	0,658	0,700	0,829	0,758	0,752
<b>A</b>	1,044	0,827	0,775	0,827	0,982	0,891	0,884
<b>M</b>	1,348	<b>1,078*</b>	1,015	1,087	1,293	1,164	<b>1,154</b>
<b>J</b>	3,269	2,634	2,494	2,677	3,192	2,853	2,829
<b>J</b>	1,586	1,288	1,225	1,319	1,576	1,399	1,387
<b>A</b>	0,924	0,756	0,723	0,780	0,934	0,824	0,817
<b>S</b>	0,749	0,617	0,592	0,641	0,769	0,674	0,668
<b>O</b>	0,583	0,484	0,466	0,506	0,608	0,529	0,525
<b>N</b>	0,709	0,592	0,573	0,624	0,751	0,650	0,645
<b>D</b>	0,691	0,581	0,564	0,616	0,743	0,639	0,633
						12,103	12,000

\* 1,078 = 88/81,66.

Les valeurs désaisonnalisées sont toujours obtenues en divisant la valeur brute par le coefficient saisonnier adéquat (cf. tableau 2.16).

Tableau 2.16 : Valeurs désaisonnalisées

	1996	1997	1998	1999	2000
<b>J</b>	63,67	70,03	84,04	109,25	152,95
<b>F</b>	65,09	71,60	85,92	111,69	156,37
<b>M</b>	66,50	73,15	87,79	114,12	159,77
<b>A</b>	67,91	74,70	89,64	116,54	163,15
<b>M</b>	69,31	<b>76,24*</b>	91,49	118,94	166,51
<b>J</b>	70,70	77,77	93,33	121,33	169,86
<b>J</b>	72,09	79,30	95,16	123,71	173,19
<b>A</b>	73,47	80,82	96,98	126,08	176,51
<b>S</b>	74,85	82,33	98,80	128,43	179,81
<b>O</b>	76,21	83,84	100,60	130,78	183,10
<b>N</b>	77,58	85,34	102,40	133,13	186,38
<b>D</b>	78,94	86,83	104,20	135,46	189,64

\* 76,24 = 88/1,154.

Comme dans le cas de la désaisonnalisation à l'aide des moyennes mobiles, il est souhaitable de représenter graphiquement la série des valeurs désaisonnalisées. Les deux méthodes donnant ici des résultats très proches, nous ne proposerons pas ce second graphique.

### ► *Prévision à l'aide de la droite des moindres carrés*

La méthode classique, trop souvent employée sans réflexion, consiste, à l'aide de la droite représentant la tendance, à calculer la valeur ajustée en  $t + 1$ , puis à la corriger du coefficient saisonnier correspondant :

- poursuivant notre illustration, nous déterminons la valeur du *trend* pour le mois 61 (janvier 2001) :  $YA_{61} = (1,8615 \times 61) + 50,02 = 163,55$  ;
- puis, nous multiplions cette valeur par le coefficient saisonnier de janvier pour réintégrer la saisonnalité :  $\text{Prévision}_{\text{janv. 2001}} = 163,55 \times 0,785 = 128,4$ .

Par rapport à l'évolution croissante des ventes de pneus, il semblerait que cette méthode sous-estime la valeur brute future. Cela s'explique par la construction de la droite des moindres carrés, qui tient compte de toutes les observations, sans affecter

les valeurs les plus anciennes d'un poids moindre. Or, la hausse du phénomène est rapide puisque les taux de croissance sont en augmentation d'année en année. La tendance linéaire ne traduit que partiellement bien cette croissance « faiblement » exponentielle... mais exponentielle tout de même.

Ainsi, lorsqu'on procède à un ajustement linéaire temps-valeurs brutes sur les deux dernières années, on trouve une droite de pente égale à 2,38 (valeur bien supérieure à 1,8615). Sur cette base, la prévision serait de  $175,6 \times 0,785 = 138$  ce qui paraît plus crédible.

Bien que moins classique, les  $k$  dernières valeurs désaisonnalisées peuvent aussi servir à construire la prévision. Il suffit de les prolonger, manuellement ou à l'aide d'une droite de régression. Par exemple, sur les deux dernières années, la DMC a pour coefficients :  $a = 3,777$  et  $b = -36,26$ . Ainsi, pour janvier 2001, on devrait avoir :

- comme valeur désaisonnalisée prévue : 194,15,
- comme valeur brute prévue : 152,4.

Cette dernière valeur confirme les remarques précédentes et nous semble mieux refléter l'évolution du phénomène. Notons que toute prévision réalisée à l'aide de la droite des moindres carrés (lorsque certaines hypothèses sont réunies) peut donner lieu à la construction d'un intervalle de prévision, susceptible d'aider le prévisionniste. Rappelons aussi que toutes ces techniques de prévision ne sont valables qu'à court terme et ne permettent qu'une anticipation limitée à quelques périodes (3 ou 4 mois au maximum). Enfin, ces modèles, comme les précédents et ceux qui vont suivre doivent être passés « au filtre » de certains indicateurs, permettant de juger de la fiabilité des prévisions.

#### 4 Prévision d'une chronique sans saisonnalité : les méthodes de lissage exponentiel

Ce sont des méthodes d'extrapolation qui donnent plus d'importance aux observations récentes, grâce à l'utilisation d'un coefficient qui décroît en progression géométrique. Il est en effet logique de considérer que, plus on est éloigné de la prévision, moins les observations ont d'influence. Il existe plusieurs types de lissage exponentiel, à utiliser selon la nature des chroniques à étudier :

<b>Chronique</b>	Sans tendance	Avec tendance
<b>Sans saisonnalité</b>	Lissage exponentiel simple (LES)	Lissage exponentiel double
<b>Avec saisonnalité</b>		Modèle de P. Winters (on dit aussi de Holt et Winters)

## 4.1 Le principe du LES

### **REPÈRES :** Les prévisions chez Michelin (suite du Repères page 103)

Le processus de prévision comporte 3 étapes, répétées selon une périodicité mensuelle :

- la base de données du groupe est mise à jour avec :
  - des historiques de ventes (sur 5 ans) corrigés par le prévisionniste pour tenir compte d'éventuels aléas ;
  - des historiques de la demande des clients ;
- un calcul statistique de prévisions de la demande par lissage exponentiel est obtenu sur les bases précédentes, puis corrigé par le prévisionniste, afin de tenir compte des dernières informations disponibles (fournies par les technico-commerciaux notamment) ;
- les propositions (prévisions) ainsi réalisées sont ensuite validées lors d'une réunion associant le responsable produit de chaque marché, le responsable marketing, le prévisionniste... et d'autres cadres.

Le principe du LES consiste à calculer la prévision en  $t + 1$  à partir de la prévision précédente en  $t$  en lui ajoutant un certain pourcentage  $\alpha$  de la différence entre la valeur observée en  $t$  et la prévision en  $t$ . Si on appelle  $P_t$  la prévision pour la période  $t$  et  $PC_t$  la prévision calculée en  $t$ , alors on peut écrire :  $PC_t = P_{t+1}$

$$P_{t+1} = PC_t = P_t + \alpha(Y_t - P_t) \quad \text{formule n° 1}$$

ou encore :

$$P_{t+1} = PC_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)P_t \quad \text{formule n° 2}$$

avec :  $0 \leq \alpha \leq 1$

et pour la 1<sup>re</sup> période ( $t = 1$ ) :  $P_2 = PC_1 = Y_1$

On admettra qu'aucune prévision ne peut être calculée en début de période 1 ( $t = 0$ ) car on ne dispose d'aucune valeur observée ; en effet, la 1<sup>re</sup> observation est connue en fin de période 1 et ce n'est qu'à ce moment-là ( $t = 1$ ) que l'on va pouvoir calculer une prévision ( $PC_1$ ) afin d'estimer la valeur de la période 2 ( $P_2$ ).

## 4.2 Application chiffrée

Voici les ventes trimestrielles d'un produit sur trois années ; effectuons un LES avec un coefficient de lissage arbitrairement fixé à 50 % (cf. tableau 2.17).

Par exemple : 109,4 est la 11<sup>e</sup> prévision, c'est-à-dire la prévision calculée lors de la 11<sup>e</sup> période, avant de connaître la valeur observée de la 12<sup>e</sup> période (100). Avec

Tableau 2.17 : Lissage exponentiel simple (  $\alpha = 0,5$  )

Trimestres	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valeurs brutes observées = $Y_t$	50	55	60	60	80	70	120	115	110	90	120	100
$PC_t$	50	52,5	56,3	58,1	69,1	69,5	94,8	104,9	107,4	98,7	109,4	

Concrètement :

1. on dispose en  $t = 1$  d'une valeur observée (réalisée) : 50 ;
  2. on initialise le modèle en prenant comme 1<sup>re</sup> prévision la valeur réalisée précédente ;
  3. on attend de disposer de la 2<sup>e</sup> valeur observée à la fin de la période 2 (ici : 55) pour calculer la 2<sup>e</sup> prévision (soit 52,50) ;
- et on continue ainsi de suite...

les informations dont on dispose, il est possible de calculer la 12<sup>e</sup> prévision, c'est-à-dire la prévision pour la période n° 13, dont on ne connaît pas la valeur observée. On trouve alors : 104,7 (toujours avec un coefficient  $\alpha = 0,5$ ).

La méthode du lissage exponentiel possède un avantage pour le prévisionniste : elle ne nécessite que deux informations, la prévision et la réalisation précédentes (contrairement à la méthode des moyennes mobiles, pour un résultat à peu près identique).

### 4.3 Autre écriture du LES

De la *formule n° 2*, on déduit l'écriture de  $P_t$  :

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

Dans la *formule n° 1*, on remplace  $P_t$  par la valeur ci-dessus ; cela permet de montrer le caractère exponentiel de la décroissance des coefficients qui affectent les valeurs observées.

$$P_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)[\alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha)P_{t-1}]$$

$$P_{t+1} = \alpha Y_t + \alpha(1 - \alpha)Y_{t-1} + (1 - \alpha)^2 P_{t-1}$$

La récurrence suivante donne :

$$P_{t+1} = \alpha Y_t + \alpha(1 - \alpha)Y_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 Y_{t-2} + (1 - \alpha)^3 P_{t-2}$$

Lorsque le nombre d'observations est élevé, le coefficient du dernier terme est voisin de zéro (ce dernier terme peut donc être négligé) ; finalement, on obtient :

$$P_{t+1} = \sum_{i=0}^{t-1} \alpha(1 - \alpha)^i y_{t-i}$$

### 4.4 Choix du coefficient de lissage

Mais, finalement, le coefficient que nous avons utilisé (50 %) est-il le mieux adapté à la chronique considérée ? Or, l'efficacité d'un modèle de lissage exponentiel réside

dans le choix du coefficient de lissage. Nous avons montré que l'influence de ce coefficient diminue exponentiellement avec l'ancienneté des observations. Un coefficient proche de 0 donnera plus d'importance au passé, alors qu'un coefficient proche de 1 privilégie les valeurs récentes. D'un point de vue général, il est conseillé de choisir un coefficient :

- *plutôt fort* lorsque les valeurs brutes sont très fluctuantes (en effet, un coefficient proche de 1 permettra d'intégrer plus vite tout changement de tendance du phénomène étudié) ;
- *plutôt faible* lorsque les valeurs brutes sont stables, sans tendance, ni variations saisonnières.

Cependant, il est préférable de choisir ce coefficient au cas par cas, notamment après avoir examiné certains indicateurs classiques, permettant de juger de la *qualité de la prévision*. Ces indicateurs se calculent tous à partir de l'*écart* entre les valeurs observées et les valeurs prévues, écart appelé aussi *erreur de prévision* et notée :

$$e_t = Y_t - PC_{t-1} = Y_t - P_t$$

On pourra donc calculer pour différentes valeurs du coefficient  $\alpha$  un certain nombre d'indicateurs et choisir le modèle le plus adapté. Comme ces indicateurs sont aussi valables pour les autres méthodes de prévision, nous avons choisi de les présenter dans un paragraphe séparé.

## 5 Suivi et amélioration de la prévision

Tout modèle sérieux de prévision doit intégrer un module permettant de tester la *qualité des prévisions*, au regard des réalisations, afin de corriger et d'améliorer le modèle initial. L'analyse des écarts entre le prévu et le réalisé est fondamentale. Elle s'appuie généralement sur une batterie de critères, que trop d'entreprises ignorent encore ou utilisent mal. Presque tous les critères classiques de prévision sont calculés à partir de l'écart, à la période  $t$  (noté  $e_t$ ), entre la réalisation et la prévision. Comme nous le précisons au paragraphe précédent, il s'agit de l'*erreur de prévision*, ou *forecast error*. Comme le montre l'illustration suivante, les critères de qualité des prévisions peuvent être simples et de ce fait mobilisateurs.

### 5.1 L'erreur moyenne et l'erreur absolue moyenne

L'erreur moyenne de prévision correspond à la somme des erreurs de prévision divisée par le nombre d'erreurs.

$$EM = \frac{\sum_{t=1}^k e_t}{k}$$

## REPÈRES : La DPPI de Guerlain

Depuis le milieu de l'année 1999, l'entreprise Guerlain, filiale du groupe français LVMH, a mis en place une Direction de la planification et des prévisions internationales (DPPI). Les objectifs affichés de cette nouvelle structure consistent à améliorer :

- la coordination de l'ensemble des projets (ex : lancement d'un nouveau parfum) ;
- la planification et la gestion opérationnelle des lancements (ex : interrogation du marché, consolidation des prévisions, planification de la production, détermination des besoins à la semaine, etc.) ;
- la prévision et le pilotage des stocks (ex : optimisation du niveau des stocks en fonction d'un taux de service).

Le responsable de la DPPI souligne l'importance de l'analyse de la qualité des prévisions effectuées à l'aide d'un logiciel\*. Chaque mois, la DPPI calcule le nombre de références pour lesquelles la valeur réalisée est comprise dans un intervalle de prévision préalablement calculé. En divisant ce nombre par le nombre total de prévisions effectuées, on obtient un taux de fiabilité qui indique le nombre de prévisions réussies. Actuellement voisin de 50 %, la DPPI souhaiterait atteindre 70 % afin d'améliorer le fonctionnement global de l'entreprise.

\* Les prévisions sont réalisées par un système interne, propre à Guerlain, appelé FAST (Forecast Application System). Ce progiciel est chargé de consolider les prévisions et de fournir les *besoins bruts*. Sous une forme proche du *plan directeur de production*, ces informations sont utilisées par le progiciel de GPAO de Guerlain qui fonctionne en *MRP*.

Source : *Stratégie logistique*, « L'empire des sens ne peut se passer de prévisions », n° 33, janv.-fév. 2001.

Dans certains cas, cet indicateur met en évidence une sous-évaluation ou une surévaluation systématique de la prévision. Par exemple, si l'EM est positif, cela signifie que la prévision est en moyenne inférieure à la valeur observée ; le modèle sous-estime la réalité. Il convient alors de reparamétrer le modèle initial afin de limiter ce biais. Utilisé seul, il peut être dangereux car une valeur proche de zéro ne signifie pas forcément que le modèle est correct ; en effet, de très importants écarts peuvent se compenser pour donner une somme quasi nulle. C'est pourquoi il est préférable de déterminer dans le même temps l'indicateur suivant.

L'erreur absolue moyenne ou EAM est la somme des valeurs absolues des erreurs de prévision divisée par le nombre d'erreurs. L'appellation anglo-saxonne MAD est très fréquente (Mean Absolute Deviation). C'est certainement l'indicateur qui présente le plus d'intérêt, et le plus utilisé.

$$EAM = \frac{\sum_{t=1}^k |e_t|}{k}$$

À cause de la valeur absolue, il évite les compensations et sera donc toujours positif. Il correspond en quelque sorte à la moyenne des erreurs, qu'elles soient positives ou négatives. Plus l'EAM est faible (et proche de zéro), plus le modèle fournit des prévisions conformes aux réalisations.

## 5.2 L'erreur quadratique moyenne de prévision

L'erreur quadratique moyenne correspond à la somme des carrés des erreurs de prévision divisée par le nombre d'erreurs. Il n'apporte pas réellement de valeur ajoutée par rapport aux deux autres indicateurs.

$$\text{EQM} = \frac{\sum_{t=1}^k (e_t)^2}{k}$$

À cause du carré, cet indicateur a tendance à accorder plus d'importance aux erreurs exceptionnellement élevées et conduit parfois à sous-estimer la qualité d'un modèle de prévision (pourtant correct), c'est pourquoi il faut être prudent.

## 5.3 Le signal d'alerte

Il existe une dernière série d'indicateurs, appelés signaux d'alerte, ou signaux d'alerte instantanés :

- le *signal d'alerte instantané* (SAI) calculé à la période  $j$  correspond à l'erreur constatée à la période  $j$  divisée par l'EAM. Pour que le modèle soit jugé de bonne qualité, cet indicateur qui peut être positif ou négatif, ne doit pas être trop élevé (en valeur absolue).

$$\text{SAI}_j = \frac{e_j}{\text{EAM}}$$

Cet indicateur compare l'erreur observée ponctuellement à la période  $j$  à la moyenne des erreurs observées jusque-là. Ainsi, dire que le SAI est égal à 3 signifie que l'erreur constatée en  $j$  est trois fois supérieure à l'erreur moyenne, ce qui doit constituer un signal pour l'observateur.

- le *signal d'alerte* (ou *tracking signal*) correspond à la somme des erreurs constatées divisée par l'EAM. Comme pour l'indicateur précédent, pour que le modèle soit jugé de bonne qualité, le signal d'alerte, qui peut être positif ou négatif, ne doit pas être trop élevé (en valeur absolue).

$$\text{TS} = \frac{\sum e_t}{\text{EAM}}$$

On admet en général qu'une valeur supérieure à 4 doit conduire à réviser le modèle. Cependant, la valeur limite retenue peut varier selon les entreprises.

#### 5.4 Application des critères présentés au lissage exponentiel

Si nous reprenons l'illustration précédente, calculons ces critères pour un coefficient de lissage  $\alpha = 0,5$  (cf. tableau 2.18).

Nous aurions pu utiliser ces critères avec les autres modèles de prévision : droite de régression, série chronologique avec saisonnalité, etc.

Tableau 2.18 : Détermination des indicateurs de qualité d'une prévision

Val. Obs.	Prévision $\alpha = 0,5$	Erreurs $Y_t - P_t$	Valeur Absolue des erreurs	Carré des erreurs	EAM <sub>1 à j</sub>	SAI <sub>j</sub>
50	50,000	5,0	5,0	25,0	5,00	1,00
55	52,500	7,5	7,5	56,3	6,25	1,20
60	56,250	3,8	3,8	14,1	5,43	0,69
60	58,125	21,9	21,9	478,5	9,55	2,30
80	69,063	0,9	0,9	0,9	7,82	0,12
70	69,531	50,5	50,5	2 547,1	14,93	3,38
120	94,766	20,2	20,2	409,4	15,69	1,29
115	104,883	5,1	5,1	26,2	14,36	0,36
110	107,441	-17,4	17,4	304,2	14,70	-1,19
90	98,721	21,3	21,3	452,8	15,36	1,39
120	109,360	-9,4	9,4	87,6	14,82	-0,63
100	104,680					
Total		109,4	163,0	4 402,0		
Nb d'erreurs observées		11	11	11		
Indicateurs de qualité de la prévision		EM = 9,9	EAM = 14,8	EQM = 400,2	Signal d'alerte 109,4/14,8 = 7,4	

Les résultats sont peu encourageants car :

- l'EM indique que le modèle a tendance à sous-estimer la réalité (la prévision n'est que deux fois supérieure à la valeur observée) ;
- l'EAM n'est pas proche de zéro... mais il faudrait pouvoir le comparer à ce qu'il serait avec d'autres coefficients de lissage ;
- le signal d'alerte est nettement supérieur aux limites traditionnellement admises par les statisticiens.

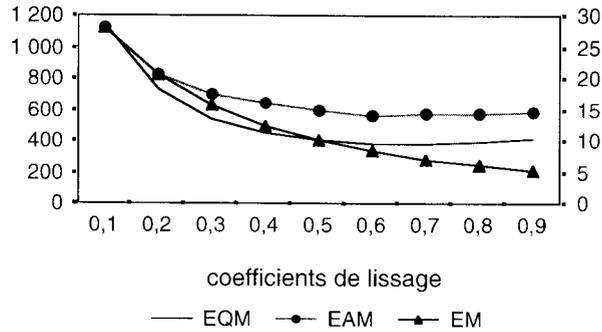


Figure 2.17 : EM, EAM et EQM pour différentes valeurs de  $\alpha$ .

Afin d'améliorer la qualité de la prévision, il serait souhaitable de choisir une autre valeur de lissage. À l'aide d'un tableur, il est possible de réitérer ces calculs pour un nombre important de coefficients de lissage. Nous présentons graphiquement ces résultats pour neuf coefficients de lissage : 0,1 – 0,2 – 0,3 – ... – 0,9.

On constate qu'un coefficient de lissage compris entre 60 % et 90 % aurait certainement permis une meilleure prévision. Effectivement, avec  $\alpha = 0,9$  on trouve un signal d'alerte de 4, ce qui est plus conforme aux usages.

## REPÈRES

(suite des Repères pages 103 et 124)

Pour contrôler les prévisions, Michelin utilise un indicateur, le MAPE : Mean Absolute Percentage Error (erreur moyenne évaluée en pourcentage). Les MAPE peuvent fortement varier d'une *Business Unit* à l'autre, car la nature et les quantités de pneumatiques vendus sont très différentes entre BU. Ainsi, les MAPE des BU génie civil, engins agricoles, sont plus élevés que les MAPE du BU véhicules de tourisme.

Si la comparaison des MAPE entre BU n'est guère intéressante, l'étude de l'évolution des MAPE, par BU, permet de constater les progrès réalisés en matière de prévision. Par exemple, depuis que le logiciel Prédicast est utilisé, le MAPE de la BU engins agricole est passé de 18 % à 4 % pour l'année 2000.

Trop longtemps négligée, la prévision des ventes reprend ces temps-ci une certaine importance auprès des dirigeants. Elle ne résout pas tous les problèmes mais fournit des informations indispensables au bon fonctionnement de l'entreprise. On constate que toutes les grandes entreprises utilisent des coefficients saisonniers pour affiner leurs prévisions. De nombreux progiciels, intégrant les techniques de prévision les plus avancées, permettent de faciliter le travail du prévisionniste. Presque tous les éditeurs proposent leur progiciel de prévision des ventes (liste non exhaustive) :

Société	Nom du progiciel	Société	Nom du progiciel
Aperia	Prédicast	Manugistics	Networks Suite
Azap	Azap	Mapics	XA Forecast
Dynasys	Skep Forecasting	O.I. Synform	Gold Forecast
E3 Corporation	E3 Trim E3 Crisp	Oracle	Demand Planning
I2 Technologies	Tradematrix Plan Demand Planner	People Soft	Demand Planning
JD Edwards	Demand Planning	SAP	APO

Régression linéaire, modèles de désaisonnalisation, moyennes mobiles et lissages exponentiels (simples ou multiples) sont presque toujours présents dans les progiciels de prévisions. Une majorité d'entre eux propose de plus des techniques avancées, telles que les techniques Box-Jenkins ou Holt-Winters. Le lecteur intéressé devra alors se plonger dans des ouvrages exclusivement consacrés à la prévision des ventes<sup>1</sup>, d'un niveau de formalisation parfois élevé ou utilisant des techniques économétriques poussées.

## Conclusion

Sur le plan pratique, dans le domaine de la prévision des ventes, les entreprises industrielles auront de plus en plus intérêt à *collaborer* avec leurs partenaires de la chaîne de l'offre situés en aval, afin d'obtenir des informations précises et actualisées. Gestion partagée des approvisionnements (GPA) et Collaborative Planning and Forecasting Replenishment (CPFR), abordés lors du chapitre traitant de la logistique, placent les prévisions des ventes sous de nouveaux auspices. Ces concepts bouleversent en même temps les conceptions classiques de l'organisation et de la planification du travail. Cela ne signifie pas que le MRP est mort... mais qu'il évolue. Pour de nombreux produits, le mode de raisonnement sur lequel il s'appuie est d'une logique imparable et ne peut être abandonné. Au contraire, plus les valeurs qui nourrissent le système sont fiables, plus les nouvelles données non prévues sont entrées tôt, plus la gestion sera efficace.

Dans une économie où la plupart des industriels sont « coupés » de leurs marchés par des intermédiaires (grossistes, demi-grossistes, détaillants, logisticiens...), la réussite des premiers sur le plan de l'organisation de la production peut effectivement dépendre des informations que les seconds sont prêts à leur communiquer. Plus un industriel est prévenu rapidement de ventes exceptionnelles par les grandes surfaces qui commercialisent le produit, plus il pourra répondre dans les délais à l'engouement

1. Par exemple, R. Bourbonnais, J.-C. Usinier, 2001.

des consommateurs. Beaucoup d'entreprises ont compris que *l'intégration* était source d'efficacité, c'est pourquoi elles développent des partenariats de plus en plus nombreux dans le domaine du « partage des données ». Les nouvelles technologies de l'information et de la communication constituent le vecteur privilégié de l'intégration. Hier, les progiciels et les systèmes de communication étaient déjà bâtis pour permettre l'intégration des fonctions à l'intérieur de l'entreprise. Aujourd'hui, ils permettent l'intégration de fonctions appartenant à des entreprises différentes. Demain, les progiciels encourageront encore plus de collaboration.

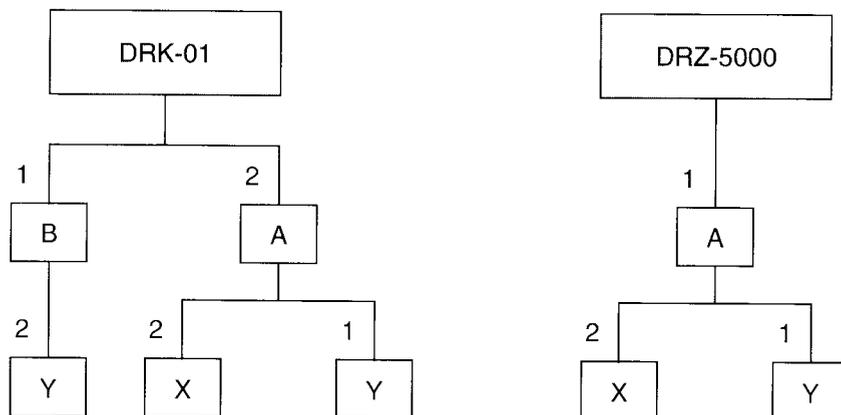
### Thèmes de réflexion

- 1 – Est-il toujours possible d'opposer flux poussés et flux tirés ? (correction page 436)
- 2 – La production sur stock a-t-elle encore un avenir ?
- 3 – Un restaurateur fonctionne-t-il en flux tirés ou en flux poussés ? Pensez-vous que cet exemple puisse aider à comprendre l'organisation de certaines entreprises ?
- 4 – La différenciation retardée ne possède-t-elle que des avantages ?
- 5 – Quelles sont les principales limites au regroupement des ordres de fabrication ?
- 6 – Renault, Ford et d'autres constructeurs se fixent pour objectif la réduction du délai de mise à disposition du véhicule neuf à 15 jours : quels sont les avantages et les limites d'une telle stratégie ?

### Exercices

#### Exercice 1

La firme Micropro-2000 Devices fabrique les produits DRK-01 et DRZ-5000. Tous les renseignements sur ces produits sont présentés ci-dessous :



Références	Stock de sécurité	Stock initial	Durée (en semaines)	Multiple d'usinage ou de livraison
DRK-01	60	60	Cycle d'assemblage : 1	-
DRZ-5000	40	40	Cycle d'assemblage : 1	-
Composant A		120	Cycle de fabrication : 1	100
Composant B		110	Cycle de fabrication : 1	-
Pièce X	100	320	Délai d'approvisionnement : 2	-
Pièce Y		130	Délai d'approvisionnement : 2	-

*Remarque* : lorsque le multiple de commande n'est pas précisé, cela signifie que les volumes usinés ou commandés correspondent exactement aux besoins.

Les prévisions de ventes, élaborées par les services commerciaux, sont présentées dans le tableau suivant :

Semaine	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DRK-01	0	0	0	50	100	150	0	150	100
DRK-5 000	0	0	0	60	70	0	180	50	250

- Déterminer les besoins nets et les différents ordres de lancement (montage, fabrication et achat) lorsque les prévisions de ventes sont respectées.
- Quelles sont les conséquences d'une vente non prévue d'un lot de 50 DRK-01 au tout début de la semaine 7 ?

### Exercice 2

À l'aide de la série suivante qui représente les ventes trimestrielles d'un produit, mettre en évidence les limites de la méthode des moyennes mobiles et du lissage exponentiel simple (avec un coefficient de 50 %).

Trim.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VB	50	55	60	60	80	70	120	115	110	90	120	100

### Exercice 3

Le tableau ci-dessous indique les OF en composant (dont le prix de revient unitaire est de 100 €):

Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OF	70	70	70	70	70	120	120	120	120	120

L'atelier qui fabrique ces composants subit un coût fixe de 120 € pour chaque lancement. Le taux de possession quotidien est 0,20 % du prix de revient.

- À l'aide de l'algorithme de Wagner et Whitin, indiquer la stratégie optimale de regroupement.

2. Que se passerait-il si une innovation ou l'utilisation de logiciels permettait d'effectuer le lancement à coût quasi nul et que les OF étaient tous très supérieurs aux valeurs indiquées ?

#### Exercice 4

On reprend l'énoncé de l'exemple du cours chapitre 2, section 1, § 4.1 (nomenclature matricielle). Les coûts unitaires de fabrication, d'assemblage ou d'achat, pour chaque étape du cycle productif sont fournis par les tableaux suivants :

	W	X	Y	Z
Coût unitaire	17	13	12	12

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	
Coût unitaire	16	15	18	

	SM <sub>1</sub>	SM <sub>2</sub>	SM <sub>3</sub>	SM <sub>4</sub>
Coût unitaire	7	9	8	10

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	
Coût unitaire	5	8	6	

	MP <sub>1</sub>	MP <sub>2</sub>	MP <sub>3</sub>	
Coût d'achat unitaire	0,7	0,1	0,2	

Combien coûterait la réalisation d'une commonalité entre P<sub>1</sub> et P<sub>3</sub> (en faveur de P<sub>3</sub>), puis entre P<sub>1</sub> et P<sub>3</sub> et entre SM<sub>1</sub> et SM<sub>3</sub> (en faveur de SM<sub>3</sub>) ? S'il était possible de mettre en œuvre le *principe de commonalité*, serait-il intéressant de le faire (à prix de vente des produits inchangés) ?

# 3

# LA GESTION DES STOCKS ET DES APPROVISIONNEMENTS

Depuis quelques années, d'importants changements ont affecté les politiques de gestion des stocks. Ainsi, le *mouvement massif d'externalisation* auquel on assiste depuis une ou deux décennies conduit fréquemment à un transfert physique des stocks, et donc de leur gestion, de l'entreprise donneur d'ordres vers le sous-traitant prestataire. L'influence du *category management* dans la grande distribution favorise certains regroupements et oblige à mettre en place des systèmes de gestion de stocks adaptés. De même, de nouvelles modalités logistiques, telles que le *cross docking*, supposent souvent une remise à plat de l'organisation existante des flux et des stocks. Enfin, le rôle croissant des nouvelles *technologies de l'information et de la communication*, notamment à travers le e-commerce incite les entreprises à repenser leurs politiques de stockage<sup>1</sup>, facteur de compétitivité.

Malgré l'influence incontestable des éléments précédents et malgré les stratégies visant à réduire les stocks, aux noms évocateurs de « zéro stock » ou de « juste-à-temps », on constate que ces derniers sont loin d'avoir disparu et représentent encore une part non négligeable de l'actif du bilan des entreprises.

Face aux changements évoqués plus haut, et à l'incertitude qui règne sur la plupart des marchés, il est peut-être encore plus indispensable qu'avant de disposer de modèles et d'outils permettant de mieux gérer les stocks. Ceci est d'autant plus vrai

---

1. Nous reviendrons en détail sur ce point lors du chapitre consacré à la logistique. La contrepartie de la vente sur Internet consiste en des niveaux de stocks élevés et en une gestion des stocks rigoureuse. Ce n'est qu'à ce prix que les entreprises pourront satisfaire des clients particulièrement exigeants sur les délais.

que la gestion des stocks s'insère dans un management de la production *intégré* et, donc, se doit aussi d'être intégrée. Lors de la construction des systèmes de gestion de stocks, les services spécialisés de l'entreprise devront prendre en considération, d'une part les exigences des autres services, et d'autre part les stratégies des partenaires de l'entreprise (fournisseurs, clients, transporteurs, grossistes-entreposeurs...).

Après avoir précisé un certain nombre de *définitions et de concepts* de base, nous évoquerons les modèles génériques de gestion des stocks (section 1). La présentation en *avenir certain* du modèle de Wilson et de certains de ses prolongements (section 2) sera suivie par l'examen des *modèles sous contraintes* liées à la volonté d'intégration de la gestion des stocks dans le management de la production (section 3). Enfin, nous élargirons le cadre précédent en nous plaçant en *avenir probabilisé* ou risqué<sup>1</sup>, c'est-à-dire dans des situations où l'entreprise ne connaît pas avec certitude la demande ou les délais de livraison (section 4).

---

Section 1	■	Définitions et concepts de base de la gestion des stocks
Section 2	■	La gestion des stocks en avenir certain : le modèle de Wilson et ses prolongements
Section 3	■	La gestion intégrée des approvisionnements et des stocks en avenir certain
Section 4	■	La gestion des stocks en avenir risqué

---



## DÉFINITIONS ET CONCEPTS DE BASE DE LA GESTION DES STOCKS

Les définitions et les classifications élémentaires [1] seront suivies par l'étude détaillée des différentes fonctions des stocks, affirmant au passage leur utilité [2]. Notre attention se portera ensuite sur le fonctionnement théorique du stock et des approvisionnements à travers l'étude des modèles génériques de gestion des stocks [3]. Nous aborderons enfin la description des divers coûts que l'entreprise doit prendre en considération lorsqu'elle souhaite optimiser sa gestion des stocks et des approvisionnements [4].

---

1. À l'instar de F. Knight (1921) qui distingue risque et incertitude, nous avons choisi de ne pas utiliser l'adjectif incertain car il fait référence à des situations extrêmes où l'entreprise ne possède quasiment aucune information. Cela est malgré tout assez rare puisque pour la plupart des produits, il est possible de disposer de statistiques de ventes, donc d'une moyenne et d'un écart type.

# 1 Définitions et typologies

## 1.1 Définition d'un stock

À l'image d'un réservoir, le stock provient d'une *différence de débit* entre un flux entrant et un flux sortant. C'est pourquoi le niveau d'un stock peut être évalué par une durée d'écoulement. On dira par exemple que la quantité en stock permet d'assurer 10 jours de fabrication, sous l'hypothèse d'un flux entrant nul. Dix jours est ici le temps nécessaire à l'épuisement du stock. Ainsi, du fait même de la définition d'un stock, la gestion des stocks est indissociable de la gestion des flux, et toutes deux dépendent de l'organisation physique de l'approvisionnement, de la production, de la logistique et de la commercialisation.

### **REPÈRES :** Le stockage des pièces de rechange au CNL de Ford France<sup>1</sup>

À Estrées-Saint-Denis, près de Compiègne, le Centre national logistique pièces de rechange (CNL-PR) du groupe Ford France gère l'approvisionnement en pièces de rechange du réseau de concessions Ford. Il s'agit du 1<sup>er</sup> centre d'approvisionnement d'Europe, possédant 36 000 m<sup>2</sup> de magasins et 32 000 références en stock. En 2000, environ 190 employés ont traité plus de 5,2 millions de lignes de commande, représentant 22 000 tonnes expédiées dans les 350 points service Ford situés en France. À peu près 25 % de ces commandes, soit 5 000 par jour, sont traitées en urgence (livraison le lendemain de la commande). Les 450 000 références du catalogue mondial de Ford peuvent être commandées auprès des dépôts source de Cologne ou de Daventry. Nous approfondirons l'organisation des flux dans le chapitre consacré à la logistique. En 2000, le taux de rotation est légèrement supérieur à 10, ce qui signifie que le stock a été renouvelé 10 fois ; le taux de service a été d'environ 96,5 %. Ainsi, une organisation rigoureuse et un puissant système d'information lui permettent de servir au plus vite les 20 000 lignes de commandes quotidiennes du réseau, tout en limitant au maximum le stock pour réduire les immobilisations. Le CNL-PR d'Estrées-Saint-Denis est le meilleur centre logistique de Ford en Europe.

1. Illustration réalisée à partir d'une visite de la plate-forme d'Estrées-Saint-Denis et de plusieurs longs entretiens avec le directeur, monsieur B. Halais, ainsi qu'avec ses principaux collaborateurs (M. Gudéfin, directeur des opérations administratives et logistiques, M. Seret, responsable du transport et M. Bullot, responsable des magasins de stockage).

## 1.2 Les différents types de stocks

On distingue en général quatre types de stocks, dont le rôle et l'importance stratégique dépendent beaucoup de l'activité de l'entreprise et des relations qu'elle entretient avec ses fournisseurs et clients :

- les *matières premières* : pour de nombreuses entreprises, elles constituent le point de départ du cycle productif. Souvent stockées avant d'être utilisées ou transformées, leur gestion est essentielle au bon fonctionnement du processus de production et notamment à sa « fluidité » ;
- les *en-cours* et les *composants* : ils peuvent être externes (achat à un fournisseur) ou internes. Dans les deux cas, il est nécessaire d'en planifier parfaitement les besoins. Parce que les multiples opérations du processus de production sont rarement synchronisées de façon parfaite, elles vont produire des en-cours<sup>1</sup> qu'il sera nécessaire de stocker avant une prochaine utilisation. Les stocks d'en-cours ou de composants prennent le nom de « stocks de fabrication ». Leur gestion s'inscrit généralement dans une réflexion plus globale, dominée par les méthodes de planification des besoins que nous avons étudiées dans le précédent chapitre, ou de juste-à-temps que nous évoquerons lors du prochain chapitre ;
- les *produits finis* et les *marchandises* : les stocks associés sont alors appelés « stocks de distribution ». Les caractéristiques habituelles de la demande de ces produits (les consommateurs sont nombreux, leurs décisions sont réputées indépendantes, la demande est certaine ou probabilisable) autorisent la construction de modèles dans le but d'optimiser la gestion de stocks. Malgré la nécessaire distinction entre composants et produits finis, il faut cependant préciser que certains stocks d'en-cours pourront être traités comme des stocks de marchandises (c'est à peu près le cas des pièces de rechange dans l'industrie automobile) ;
- les *fournitures* : il s'agit des éléments consommés lors du cycle productif, mais qui ne sont pas des constituants du produit ; par exemple, l'énergie. Contrairement à ce qui précède, les méthodes visant à gérer les stocks de fournitures s'appuient sur des démarches empiriques et ne sont généralement pas considérées comme stratégiques. Cependant, dans une optique de recherche des « coûts cachés », il peut s'avérer que des économies soient possibles à ce niveau.

### 1.3 La classification des stocks en fonction de l'importance stratégique des produits stockés

Les entreprises mono-produit sont rares, mais même ces dernières utilisent de nombreux composants et déclinent leur produit selon une gamme variée. De ce fait et aussi à cause de la structure productive, l'entreprise ne peut accorder la même importance à chacun de ses produits ou de ses composants. La gestion des stocks s'avère donc être une *gestion sélective*.

---

1. Ou des composants, ou des produits semi-finis.

## REPÈRES

(suite du Repères page 137)

Au CNL-PR-Ford, il existe une catégorie de références appelées *fast movers*, pour laquelle les approvisionneurs ne doivent jamais être en rupture. Il s'agit des 100 premières pièces les plus demandées (en ligne de commande, et non en quantité). Pour la gestion des stocks et des approvisionnements, les gestionnaires utilisent un logiciel « maison » appelé CDOPS. Cependant, ils observent avec une attention toute particulière l'évolution des stocks des *fast movers* ; si nécessaire, ils peuvent anticiper les ordres de réapprovisionnement calculés automatiquement par le logiciel.

### ► Les bases de la méthode ABC

Les entreprises retiennent fréquemment une méthode simple de classement des composants et des produits ; il s'agit de la *méthode ABC*<sup>1</sup>, issue de la loi des 20-80, ou *loi de Pareto*. Cette technique permet de classer les flux et les stocks d'articles en fonction de certains critères, et notamment selon :

- la valeur des sorties de stocks pendant une période donnée ;
- la valeur en stocks ;
- la surface ou le volume consommé, etc.

L'utilisation judicieuse de cette méthode suppose de réitérer les calculs avec plusieurs critères et de croiser les résultats, notamment afin de faire apparaître des intersections. La présence du même article X dans la catégorie A de plusieurs classements ABC conforte les conclusions que l'on peut tirer de la méthode. À notre connaissance, tous les logiciels offrant des modules de gestion de stock possèdent une fonction de classification ABC.

En ce qui concerne la gestion des stocks, cette méthode permet de se focaliser sur les produits stratégiques et donc *d'éviter un gaspillage* de temps et de ressources suite à une gestion trop rigoureuse sur des produits d'importance mineure.

Le tableau 3.1 fournit une vision synthétique et les principales caractéristiques de la méthode ABC.

### ► Application chiffrée

Le service commercial d'une entreprise de haute technologie gère 10 composants différents, référencés par un code alphanumérique. Le tableau 3.2 fournit les informations nécessaires.

1. Méthode qu'il ne faut pas confondre avec la non moins célèbre, mais récente, *Activity Based Costing*.

Tableau 3.1 : Principales caractéristiques de la méthode ABC

Catégories	Quantité d'articles dans la catégorie (en % du total)	Valorisation (en %)	Niveau de contrôle du stock	Procédures de commande
Catégorie A	de 10 à 20 %	de 70 à 80 %	Fréquent et rigoureux	Fréquentes Rigoureuses et adaptables
Catégorie B	de 30 à 40 %	de 15 à 20 %	Moyen	Régulières Standards
Catégorie C	de 40 à 50 %	de 5 à 10 %	Faible	Selon les besoins Empiriques

Tableau 3.2 : Caractéristiques des composants

Code du composant	Valeur unitaire (en €)	Nombre de sorties	Sorties en valeur (en €)
X-2	52	159	8 268
X-1	134	89	11 926
Z-100	23	12	276
Y-30	5	70	350
Y-10	87	30	2 610
Z-300	2	75	150
Y-20	9	140	1 260
Z-400	1	80	80
Z-500	0,5	150	75
Z-200	6	35	2 10

L'objectif consiste à mettre en évidence les différentes catégories de composants, dans le cas où le critère retenu est par exemple celui de la *valeur des sorties annuelles* de stock (en quelque sorte, le chiffre d'affaires réalisé par composant et par an). Le complément de cette étude est la construction de la courbe de Pareto.

Afin d'exposer la méthode avec clarté, procédons par étapes pour construire un second tableau :

1. classons les composants dans l'ordre décroissant des sorties en valeur ;
2. calculons le total des sorties en valeur, soit 25 205 € ;
3. calculons les fréquences cumulées croissantes (FCC), exprimées en %, sur le nombre de composants ;

4. calculons les fréquences cumulées croissantes, exprimées en %, sur les sorties en valeur précédemment classées.

Tableau 3.3 : Classement sur le critère des sorties en valeur

Code du composant	Sorties en valeur classées	FCC sur SV (en %)	FCC sur articles (en %)
X-1	11926	47,3	10
X-2	8 268	80,1	20
Y-10	2 610	90,5	30
Y-20	1 260	95,5	40
Y-30	350	96,9	50
Z-100	276	98,0	60
Z-200	210	98,8	70
Z-300	150	99,4	80
Z-400	80	99,7	90
Z-500	75	100,0	100

Les deux dernières colonnes de ce second tableau vont permettre d'obtenir la courbe de Pareto, dont la forme mettra en évidence le degré de concentration du chiffre d'affaires sur un nombre plus ou moins faible de composants. Le tableau et le graphique permettent de classer les composants :

- soit en *deux* grandes catégories selon la méthode des 20/80 : 20 % des composants (X-1 et X-2) représentent 80 % des sorties en valeur alors que les 80 % de composants restants (référéncés par Y et Z) ne représentent que 20 % des sorties en valeur,
- soit en *trois* grandes catégories selon la méthode ABC :
  - catégorie A : 20 % des composants (c'est-à-dire : X-1 et X-2) représentent environ 80 % des sorties en valeur ;
  - catégorie B : 30 % des composants (c'est-à-dire : Y-10, Y-20 et Y-30) représentent environ 17 % ( $96,9 \% - 80,1 \% = 16,8 \%$ ) des sorties en valeur ;
  - catégorie C : 50 % des composants (c'est-à-dire : Z-100... , Z-500) représentent environ 3 % ( $100 \% - 96,9 \% = 3,1 \%$ ) des sorties en valeur.

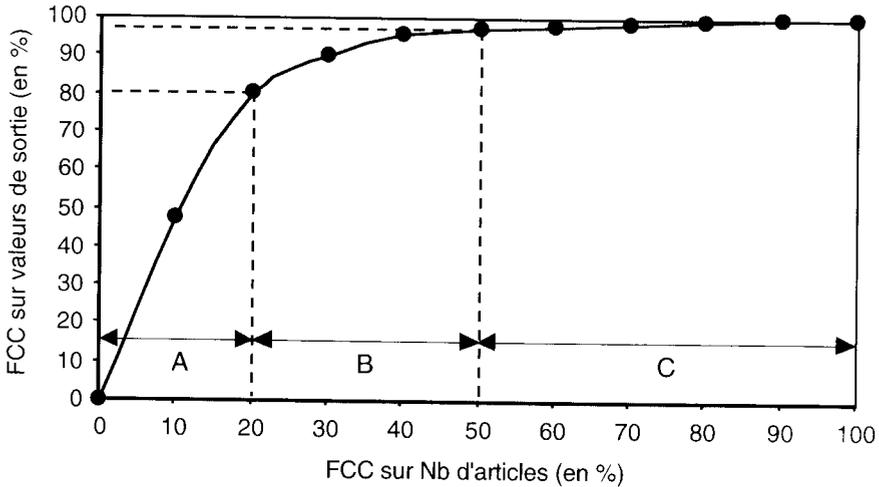


Figure 3.1 : Courbe de Pareto

## 2 Le rôle des stocks dans les processus productifs

Les stocks possèdent quatre grandes fonctions, que nous présenterons de façon séparée par souci de clarté, même si dans la réalité, elles sont souvent et fortement imbriquées.

### 2.1 Le stock permet la confrontation entre l'offre et la demande

Les stocks s'expliquent par le fait que très peu d'entreprises peuvent se permettre de produire instantanément, à *l'endroit et au moment* où les clients se présentent. Même l'artisan ébéniste qui travaillerait exclusivement à la commande posséderait des stocks des différents bois utilisés dans la fabrication des meubles, qu'il aura préalablement laissés vieillir. Cette fonction dite *de service* doit permettre de satisfaire les clients dans des *délais raisonnables*.

Les temps d'attente sont variables selon les produits ; nuls pour une boîte de conserve achetée en grande surface, ils vont de quelques minutes pour une pizza à emporter à plusieurs semaines pour une commode Louis XV en merisier massif exécutée par un artisan. Les temps d'attente sont aussi subjectifs et dépendent des consommateurs ; cependant, mieux vaut éviter qu'ils ne soient trop longs, au risque de perdre le client qui trouvera plus rapide ailleurs. C'est pourquoi la plupart des entreprises considèrent qu'il est indispensable *d'anticiper*<sup>1</sup> les demandes des agents

1. Nous retrouvons ici certains thèmes introductifs majeurs du chapitre précédent, consacré à la planification des besoins (gestion des flux par anticipation, à la commande ou par anticipation partielle).

économiques placés en aval afin de les satisfaire dans les délais les plus brefs et au moindre coût : constituer des stocks est alors nécessaire. Il peut s'agir du client final, satisfait grâce au stock de produits finis, mais il peut aussi s'agir des services d'assemblages (stocks d'en-cours), de fabrication (stocks de matières premières), ou des ateliers de réparation (stocks de pièces de rechange).

## **REPÈRES :** « Stocker, c'est satisfaire le client dans des délais très courts » (suite du Repères page 137)

Le CNL-PR de Ford France répond à :

- 25 % des commandes le lendemain avant 10 heures (lorsqu'elles sont passées avant 17 heures, il s'agit des commandes d'urgence) ;
- 84 % des commandes dans les trois jours ;
- 99,2 % des commandes dans les quatre jours.

La présence d'un stock est nécessaire mais pas suffisante pour assurer aux concessionnaires les délais les plus brefs, c'est pourquoi un système d'information puissant (utilisation de l'EDI puis d'un intranet) et une organisation logistique perfectionnée sont des compléments indispensables, comme nous le constaterons dans le chapitre 5.

Dans le même esprit, le stock est nécessaire dans le cas de biens faisant l'objet d'une *consommation saisonnière*, où la période de vente est brève et intense. Ainsi, les entreprises préparent Noël en stockant des jouets tout au long de l'année car elles anticipent un fort déséquilibre entre la capacité de leurs équipements et la consommation pendant la période novembre-décembre.

Même les sociétés de services sont soumises à ces contraintes ; par exemple, toutes les entreprises de dépannage à domicile doivent dimensionner leur « stock de réparateurs » en fonction de l'expérience passée. Finalement, la volonté de résoudre le problème de la non-coïncidence spatiale et temporelle entre l'offre et la demande apparaît à tous les niveaux de la production, tant pour les biens que pour les services.

## **2.2 Le stock protège l'entreprise contre certaines formes d'incertitude**

Les deux formes principales d'incertitude concernent la demande et le cycle productif, considéré au sens large (achats, fabrication, livraisons, etc.).

### **► L'incertitude sur la demande**

La demande de produits finis est difficilement prévisible. Le stock permet donc de répondre à une double augmentation non prévue : celle des clients habituels qui

décident de consommer davantage et celle des clients nouveaux. Dans le premier cas, grâce au stock, l'entreprise conserve le client qu'elle aurait pu perdre s'il n'avait pas trouvé le produit. Dans le second cas, elle peut gagner un client qui a des chances de lui rester fidèle s'il est satisfait par le produit. Or, on sait qu'il est coûteux de « gagner » un client (coût de la publicité). Le stock possède donc des vertus stratégiques.

### ► *L'incertitude sur le cycle productif*

Malgré la qualité de la planification et des équipements, malgré la bonne volonté des personnels et des partenaires (grossistes, sous-traitants, transporteurs, etc.), les risques que la production soit perturbée sont nombreux. Les probabilités d'occurrence des incidents sont d'ailleurs d'autant plus élevées que la production est composée d'opérations complexes, nombreuses, réalisées par des intervenants différents, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'entreprise. La présence des stocks limite la diffusion des incidents (pannes, grèves, retard de livraison, sinistres, etc.) à l'ensemble du processus productif : on dit que les stocks assurent la *non-propagation des problèmes*. Bien sûr, cette fonction ne peut être assurée que pendant la durée d'écoulement des stocks concernés ; si l'incident persiste au-delà de cette période, c'est l'ensemble du processus qui sera affecté.

Ainsi, la constitution de stocks atténue la gravité des conséquences des incertitudes inhérentes à l'activité de l'entreprise. Cette dernière peut aussi s'attacher à réduire le nombre même des incidents en question. Les stocks ne doivent pas masquer les problèmes<sup>1</sup> ou permettre d'ignorer les éventuels dysfonctionnements organisationnels.

## **2.3 Le stock permet d'améliorer la régulation entre les différents sous-systèmes du processus productif et logistique**

Assurer le meilleur *équilibre* entre tous les sous-systèmes, c'est-à-dire entre tous les stades productifs et logistiques qui participent à l'élaboration et à la circulation d'un produit, est une des questions majeures du management intégré de la production. Or, il est rare que tous les ateliers travaillent au même rythme, ou que toutes les *ressources* aient la même *capacité*. Les différentes opérations qui composent un processus productif et/ou logistique ne sont pas forcément synchronisées et ne connaissent pas toujours les mêmes contraintes (réglages différents, taille optimale des lots spécifique, éloignement géographique, etc.).

La présence de stocks entre les différents sous-systèmes, ou entre les différentes entreprises, leur confère une certaine autonomie et leur permet d'atteindre une *optimisation locale* ; on parle alors de *découplage* productif. On peut aussi évoquer les discontinuités fréquentes associées à la logistique. Avant d'effectuer le transport d'un

---

1. Cette perspective sera abordée lors du chapitre consacré au juste-à-temps.

produit fini vers un distributeur, il est généralement nécessaire d'attendre qu'il y ait une quantité suffisante : une palette, un camion ou un cargo entier. La plupart du temps, les impératifs de rentabilité ne permettent pas de faire partir un camion ou un cargo à moitié plein. Enfin, certaines opérations *imposent* la constitution de stocks intermédiaires (stocks tampons) : c'est notamment le cas des opérations d'assemblage, puisque toutes les pièces doivent être disponibles pour être assemblées en même temps.

Imaginons que deux entreprises A et B fabriquent respectivement deux modules X et Y, livrés par camions en un jour à l'entreprise C qui assemble ces modules afin de constituer un produit P.

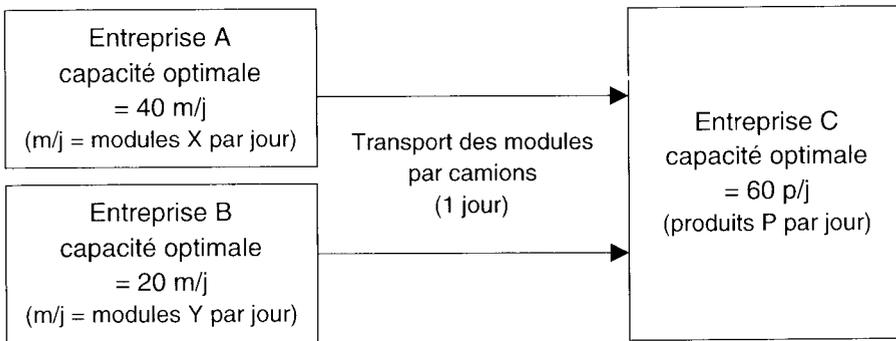


Figure 3.2 : Déséquilibre productif

Pour que l'entreprise C produise au coût moyen le plus faible, elle doit fabriquer 60 produits P par jour. Cela suppose que A fonctionne pendant 1,5 jour et B pendant 3 jours avant que C ne puisse commencer à assembler les modules X et Y, à l'issue de la livraison. Des stocks de modules X et Y vont donc progressivement se constituer. En début de cycle, C doit patienter 4 jours avant de produire P (3 jours à cause de B plus 1 jour de livraison). En régime de croisière, C s'arrête deux jours après une journée de production. On imagine évidemment que l'activité de C n'est pas limitée au produit P et qu'elle occupe les deux jours d'arrêt à d'autres fabrications. Les désynchronisations des flux conduisent donc à la constitution de *stocks intermédiaires* (parfois appelés *buffer stocks*) et/ou à des arrêts périodiques de certains équipements.

## 2.4 Le stock permet la réalisation d'économies d'échelle

Lorsque les produits sont non périssables et peu liés à la mode, la fabrication ou l'achat de grandes quantités est préférable car elle permet souvent des coûts unitaires ou des prix d'achat plus faibles. En effet, dans le domaine de la production, plus le lot fabriqué est important, plus les frais de mise en fabrication seront amortis et plus le coût unitaire sera faible. De même, dans le domaine des achats, les fournisseurs

consentent d'autant mieux à des remises que les volumes commandés sont élevés. Cependant, il est aisé de comprendre que les économies d'échelle ainsi réalisées peuvent s'annuler lorsque les coûts de stockage de ces forts volumes deviennent prohibitifs. La section 2 reviendra en détail sur l'étude de cet arbitrage.

### 3 Les principaux systèmes de gestion des stocks

L'efficacité des systèmes de gestion de stocks passe par la maîtrise temporelle et quantitative des approvisionnements, et notamment par une parfaite connaissance de la demande de l'entreprise. Ainsi, après avoir évoqué les éléments qui ont un impact sur le niveau du stock, nous évoquerons les modèles génériques de gestion des stocks.

#### 3.1 Nature de la demande et facteurs d'influence du niveau du stock

On trouve parfois l'image du barrage pour définir et illustrer la notion de stock. Il s'agit en fait d'une image peu pertinente en gestion des stocks. En effet, le débit de la rivière avant le barrage n'est pas maîtrisé, alors que le débit du flux aval est régulé par les responsables du barrage, sauf événement exceptionnel. Or, dans la plupart des cas, c'est le contraire qui se produit dans le cadre de la gestion des stocks<sup>1</sup> d'une entreprise : le flux amont est régulé (production) alors que le flux de sortie ne l'est pas car l'entreprise ne maîtrise pas la demande. Finalement, dans le court et moyen terme, le seul moyen d'agir sur le niveau du stock consiste à *contrôler les approvisionnements*.

##### ► *Facteurs d'influence du niveau du stock*

Face à cette contrainte, les systèmes de gestion de stock doivent répondre à deux questions intimement liées :

- *quand* approvisionner le stock ?
- et de *combien* l'approvisionner ?

Les réponses possibles au couple « quand ?-combien ? » dépendent de plusieurs éléments, sur lesquels l'entreprise n'a pas la même maîtrise :

- du *secteur d'activité* et des *objectifs généraux* de l'entreprise : comme nous le précisons à l'occasion de l'étude du rôle des stocks, une stratégie de production par anticipation, même partielle, ne peut pas conduire aux mêmes réponses qu'une stratégie de production à la commande ;
- du *niveau actuel du stock* : plus le système d'information de l'entreprise est performant, plus ce niveau est connu avec précision. Diverses techniques, telles que l'inventaire permanent ou l'inventaire périodique, associées à des équipements informatiques et des logiciels spécialisés, permettent aujourd'hui une excellente

---

1. Nous faisons ici référence aux stocks de distribution.

- connaissance des volumes en stock. Ainsi, l'utilisation de lecteurs optiques et d'étiquettes informatisées (codes à barres), ou de puces électroniques, couplée au système d'information permet de suivre en temps réel l'évolution du niveau d'un stock ;
- de la *nature du produit et de sa demande* : il existe deux catégories extrêmes de produits ; ceux dont la demande est limitée dans le temps<sup>1</sup> et ceux pour lesquels elle se manifeste sur une longue période. Dans le premier cas, on parlera de *stock à rotation nulle* et on sera très attentif à bien dimensionner le stock initial afin d'éviter les pertes liées à l'arrêt des ventes. Dans le cas où la demande est assurée d'une certaine permanence, on dira qu'il s'agit de *stock à rotation non nulle* ;
  - de la *demande future* : alors que l'entreprise possède une forte emprise sur les deux premiers éléments, elle ne peut qu'établir des prévisions sur la demande future, qui reste à court terme hors de sa maîtrise (si ce n'est par des campagnes publicitaires agressives).

### ► *Nature de la demande*

Attardons-nous quelques instants sur l'étude de la demande, élément protéiforme dont la nature détermine partiellement le système de gestion de stock qui doit être retenu. Selon Giard (1988) analyser la demande suppose en effet de s'intéresser à trois éléments essentiels.

#### • *Le type d'univers*

On peut se situer dans :

- un univers *certain* : la quantité demandée pendant une période donnée est connue à l'avance de façon extrêmement précise ; c'est bien sûr la situation la plus favorable pour le gestionnaire ;
- un univers *aléatoire* ou risqué : la quantité demandée n'est pas connue avec certitude mais en revanche, la loi de probabilité de la demande est maîtrisée. Il peut s'agir de lois discrètes ou continues. Quoiqu'il en soit, l'entreprise dispose de la moyenne et de l'écart type de la demande. Le respect de certaines règles proposées par des méthodes statistiques permettra de limiter les risques de sous ou surdimensionner le stock ;
- un univers *incertain* : on ne connaît pas la distribution de probabilités ; d'ailleurs, on ne sait même pas si une distribution quelconque pourrait s'appliquer. Remarquons que dans le langage des gestionnaires (et des économistes), l'adjectif incertain ne s'oppose pas à certain. Dans ce domaine, les modélisations sont rares et des méthodes heuristiques sont généralement préférées.

1. Les raisons évoquées sont généralement liées à des phénomènes de modes, d'obsolescence technologique ou à un caractère périssable.

- *Le mode d'évolution de la demande*

La demande peut être :

- *statique* lorsque ses caractéristiques n'évoluent pas ou très peu de période en période ;
- *dynamique* quand pour de multiples raisons, ses caractéristiques évoluent régulièrement.

- *L'origine de la demande*

La demande peut être :

- *interne*, lorsqu'un atelier demande des composants à l'atelier situé en amont : cela traduit l'existence de stock de fabrication. Dans ce cas, le nombre de demandeurs est très limité, les besoins sont dits dépendants, et les méthodes utilisées font davantage référence à des procédures dites de planification des besoins en composants (ou de juste-à-temps) qu'à des méthodes pures de gestion de stocks. Dans ce cas, le problème initial de gestion des stocks se perd dans l'ensemble plus vaste de la planification de la production étudié lors du chapitre précédent.
- *externe* quand elle émane des clients de l'entreprise, qu'il s'agisse de ménages ou d'autres entreprises ; cela suppose la gestion de stocks de distribution. Cela signifie que certains stocks de fabrication doivent aussi être gérés comme des stocks de distribution.

Dans la suite de ce chapitre, nous étudierons donc des situations où la demande sera *externe* (produits finis vendus aux ménages ou composants vendus à d'autres entreprises) et *statique*, successivement dans des *univers certains puis risqués*.

### 3.2 Présentation succincte des modèles génériques de gestion de stock

Maintenant que nous connaissons les éléments dont dépendent les réponses au couple « quand ?-combien ? », nous pouvons proposer les réponses les plus classiques, et présenter les modèles génériques associés. À la question « quand commander ? », on peut répondre :

- à périodicité fixe, par exemple le 28<sup>e</sup> jour de chaque mois ;
- à périodicité variable, lorsque le niveau du stock atteint une « certaine »<sup>1</sup> valeur.

Bien qu'il s'agisse d'une simplification à but pédagogique, nous dirons que la réponse à la question « combien commander ? » dépend généralement de ce qui aura été décidé à la précédente question. Ainsi :

- s'il a été décidé que la périodicité serait fixe, les quantités devront s'adapter aux variations de la demande. La réponse sera donc : « quantités variables ». On pourra

---

1. Cette valeur clé du système s'appelle *stock d'alerte* ou *point de commande* ; nous allons très vite y revenir en détail.

par exemple commander la quantité qui a été consommée sur la période fixe précédente afin de ramener le niveau du stock à son niveau dit de recombplètement ;

- s'il a été décidé que la périodicité serait variable, les quantités pourront donc être fixes puisque l'adaptation aux variations de la demande se fait par rapport au facteur temps. Ainsi, on pourra commander une quantité fixe à chaque fois que le niveau du stock baissera et atteindra le stock d'alerte.

Le tableau suivant offre une vision synthétique des réponses précédentes et positionne le célèbre cas particulier étudié lors de la prochaine section, le modèle de Wilson :

Tableau 3.4 : Modèles génériques de gestion de stock

		QUAND ?	
		Période fixe	Période variable
COMBIEN ?	Quantité fixe	Cas particulier : gestion sur seuil en avenir certain – Modèle de Wilson	Gestion sur seuil ou à point de commande
	Quantité variable	Gestion calendaire à niveau de recombplètement	Assez rare - Modélisation délicate (simulation)

### 3.3 Les principales caractéristiques des modèles génériques

Étudions dans le détail les caractéristiques essentielles des deux modèles génériques que sont le modèle à point de commande et le système calendaire.

#### ► Le système à point de commande

Une commande est déclenchée dès que le niveau du stock devient inférieur ou égal au stock d'alerte, encore appelé point de commande, ou selon la terminologie anglo-saxonne ROP pour *reorder point*. En règle générale, le volume des commandes successives est fixe et déterminé à l'aide du modèle de la quantité économique, que nous étudierons dans la prochaine section. Ce système est fréquemment utilisé par les entreprises et possède même des applications dans la vie courante.

Même si l'expérience entre en compte dans la détermination du stock d'alerte, ce dernier doit refléter la plus ou moins grande variabilité de la demande ; il comprendra donc deux éléments :

- la quantité nécessaire pour faire face à la demande moyenne pendant le délai de livraison<sup>1</sup> (*lead time* = cycle d'approvisionnement ou cycle de fabrication) ;

1. Si la demande est certaine, le second élément n'a aucune utilité : le stock de sécurité est nul.

## REPÈRES

(suite du Repères page 137)

Le modèle de gestion de stock du CNL-PR de Ford correspond à une *gestion sur seuil*, avec fixation d'un stock de sécurité, variable selon les références. Le stock de sécurité dépend :

- du *lead time*, qui est par exemple de 8 jours pour certaines pièces venant des dépôts sources ;
- et des paramètres de la demande (moyenne et écart type).

De manière générale, les commandes sont passées automatiquement par le logiciel CDOPS sous la forme d'un message informatique. L'approvisionneur, responsable d'un certain nombre de références, peut cependant anticiper le passage de la commande grâce à l'observation régulière des écrans de contrôle, qui fournissent tous les renseignements sur le stock.

- une quantité supplémentaire appelée *stock de sécurité – safety stock* –, qui a pour objectif de limiter les risques que la demande soit supérieure à la moyenne.

On peut donc poser :  $STA = (DEM \times DLM) + STS$

sachant que :

- STA : stock d'alerte,
- DEM : demande moyenne par unité de temps,
- DLM : délai de livraison moyen en unités de temps,
- STS : stock de sécurité.

On notera que (cf. figure 3.3) :

- la quantité commandée  $Q^*$  est identique de période en période :
- le moment où l'on passe la commande n'est pas connu à l'avance puisqu'il dépend de l'évolution de la demande et du niveau du stock d'alerte choisi :
- les délais de livraison peuvent ne pas être identiques (la livraison n° 2 est plus longue à venir), d'où l'utilité d'un stock d'alerte supérieur à ce que serait en moyenne la consommation pendant la période de livraison.

Cette technique s'appuie souvent sur un inventaire permanent – *perpetual inventory system* ; chaque article qui sort du stock est comptabilisé, ce qui permet de savoir à tout moment où en est le niveau du stock. La détermination du stock d'alerte est facilitée par les nouvelles technologies et l'informatique. Mais la gestion par point de commande n'implique pas forcément un système d'information sophistiqué. La technique dite « des deux magasins », souvent utilisée, permet une tenue de stock assez simple. Il s'agit de scinder physiquement le stock en deux stocks de niveaux A et B. On fixe le niveau de B au niveau du point de commande et on commence par vider le stock A. Dès que ce dernier est vide, on sait qu'il faut passer une commande.

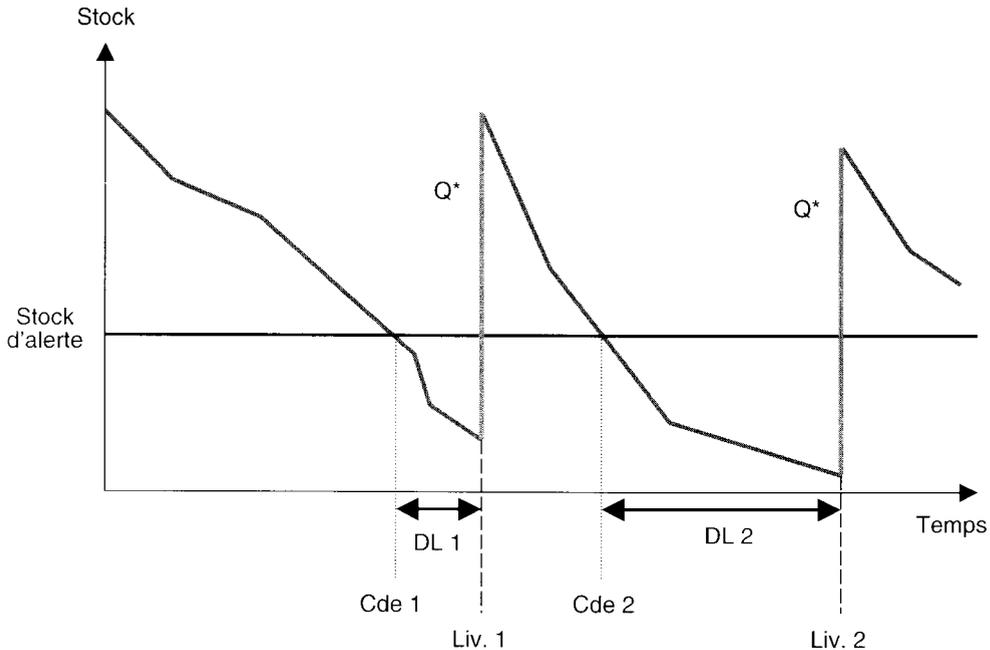


Figure 3.3 : Système à point de commande

**REPÈRES :** La technique des « deux magasins à la verticale » au CNL-PR d'Estrées-Saint-Denis (suite du Repères page 137)

Pour la plupart des références de grande taille (portières, capots, etc.), dans un souci de gain de place, au moins trois niveaux de stockage sont autorisés grâce à d'imposantes étagères de plusieurs mètres de haut. Or, les employés chargés du *picking* prélèvent d'abord les pièces au niveau 0 (niveau du sol) avant d'aller chercher celles des niveaux 1, 2 ou 3. Pour de nombreuses références, les responsables de la gestion des stocks ont décidé que le stock d'alerte serait égal au nombre d'unités stockées aux niveaux supérieurs. Ainsi, lorsque le stock du niveau 0 est vide, c'est le moment de passer une commande aux dépôts sources.

Le système à point de commande a le mérite de la rigueur et de la simplicité ; cependant, son fonctionnement est coûteux lorsque le système d'information est complexe ou peu performant. De plus, le fait de gérer les stocks selon des périodicités variables rend difficile le regroupement des commandes, pourtant rentable lorsque plusieurs produits sont livrés par un même fournisseur.

► **Le système de gestion calendaire à niveau de reapprovisionnement**

La gestion calendaire suppose l'examen du stock à intervalles de temps réguliers, par exemple, le 28 de chaque mois. À ces dates fixes, il faudra passer une commande d'un volume égal à ce qui a été consommé pendant la période précédente. Ainsi, comme le montre la figure 3.4, la quantité commandée à l'instant  $t_0$  correspond au niveau de reapprovisionnement auquel on a soustrait le stock disponible à l'instant  $t_1$ . La principale difficulté réside dans la fixation du niveau de reapprovisionnement (noté NR) :

$$NR = (DEM \times DP \times DLM) + STS$$

DLM, DEM et STS ont déjà été définis ; DP étant la durée d'une période en unités de temps.

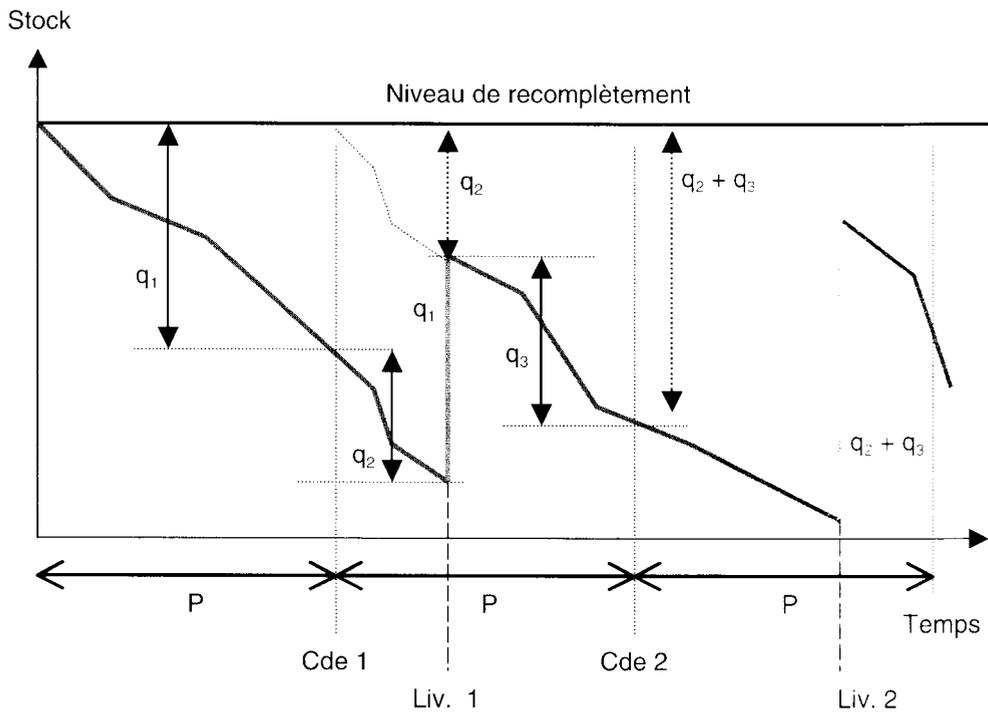


Figure 3.4 : Organisation calendaire à niveau de reapprovisionnement

Lorsque la périodicité est identique pour chaque produit, ce système facilite le regroupement des commandes et réduit les frais fixes administratifs et logistiques. Il n'est cependant pas toujours apprécié des fournisseurs qui doivent s'adapter aux fluctuations des quantités commandées. Il peut aussi entamer la rentabilité de l'entreprise qui supporte des coûts de livraison non optimaux (par exemple, lorsque

les camions ne sont pas remplis). C'est pourquoi, il existe des systèmes composites à périodicité fixe où la commande n'est passée que si le niveau du stock a atteint le stock d'alerte. On parle de gestion calendaire conditionnelle ou de système à reconstituer complètement périodique à point de commande. Quoi qu'il en soit, le choix d'un système s'effectue au cas par cas et nécessite une réflexion globale et la prise en compte de nombreux paramètres (nature du secteur, du produit, de la demande).

## 4 Les coûts liés au stockage

La minimisation du coût global de stockage est un des objectifs prioritaires de nombreuses entreprises, notamment celles dont les stocks de distribution sont par nature élevés. Il est donc indispensable d'étudier avec précision les composantes de ce coût de stockage, et notamment :

- le coût de possession du stock moyen ;
- le coût de passation des commandes ;
- le coût de rupture lorsque le stock ne permet plus de satisfaire la demande ;
- éventuellement, le coût des produits invendus.

### **REPÈRES :** L'entreprise Lesieur optimise son coût de stockage

Lesieur est n° 1 du marché français des huiles avec 41 % de part de marché en volume et 45 % en valeur ; elle appartient au groupe EBS, Eridania Béghin-Say.

En 1998, Lesieur fait appel à une société de conseil spécialisée dans le *supply chain management*, la société Diagma, notamment afin d'améliorer la gestion de ses stocks et de ses livraisons. Jusque-là, les barèmes de prix n'étaient pas incitatifs car ils ne permettaient pas d'optimiser le coût global de stockage, aussi bien pour Lesieur que pour ses clients grossistes. Aujourd'hui, le coût global sur l'ensemble de la chaîne comprend :

- le coût du transport : des usines de fabrication vers les entrepôts d'expédition Lesieur, puis vers les entrepôts des clients ;
- le coût de manutention : préparation de la commande et réception ;
- le coût physique de stockage ;
- le coût financier de stockage ;
- les coûts administratifs relatifs à la passation de la commande, à l'édition des factures, des bons de livraison, ainsi qu'au règlement de litiges mineurs associés aux commandes.

Source : *Logistiques Magazine*, « Lesieur, une logistique bien huilée », n° 152, nov. 2000.

## 4.1 Le coût de possession du stock

Le coût de possession du stock est égal à la somme du coût de détention et du coût de stockage physique.

### ► *Le coût de détention*

Dans la mesure où il faut acheter les produits qui constituent le stock, ce dernier correspond à une immobilisation de capitaux. En étant orienté vers le stock, un certain volume de liquidités ne rapporte rien<sup>1</sup>, au lieu d'être dirigé vers des emplois rémunérateurs. Il est classique de qualifier ce manque à gagner de *coût d'opportunité* et il est nécessaire de l'évaluer, c'est-à-dire de connaître la perte potentielle provoquée par le stockage de 100 francs sur une période donnée (en général, l'année). Concrètement, le taux d'opportunité correspond au taux de rentabilité le plus élevé que l'entreprise aurait pu choisir pour investir au lieu de constituer un stock et de geler ainsi une partie de ses capitaux.

Le taux d'opportunité s'applique sur la valeur du stock. Mais on ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. En effet, le stock diminue au cours de la période : on ne peut donc pas prendre le stock initial, contrairement à ce qu'une analyse superficielle pourrait laisser penser. Il faut considérer le *stock moyen* afin de tenir compte de la diminution du stock. Très souvent, on fait l'hypothèse que le stock s'écoule linéairement, ce qui permet de définir le stock moyen comme la demi-somme du stock initial et du stock final.

### ► *Le coût de stockage physique*

Dans la mesure où l'entreprise détient physiquement le stock de produits, cela va avoir un coût en termes de loyers d'entrepôts, de chauffage ou réfrigération, d'impôts locaux, de salaires des magasiniers, de polices d'assurance, etc. Bien que certains de ces coûts soient fixes, et d'autres variables, il est classique de considérer l'ensemble des coûts de stockage physiques comme des coûts variables. Pris globalement, le coût de stockage physique peut être exprimé, soit en unités monétaires par produits stockés et par unité de temps, soit en pourcentage du prix du produit sur une période donnée.

## 4.2 Le coût de passation des commandes

Il s'agit principalement des coûts administratifs forfaitaires occasionnés par le passage d'une commande (établissement des bons de commandes, bordereaux d'envoi, réception des marchandises, contrôles et suivis des commandes, etc.). Ces coûts sont considérés comme fixes. Il faudrait aussi ajouter les coûts indirects liés à

---

1. Ceci est discutable puisque le stock assure certaines fonctions dans l'entreprise : disponibilité des produits pour les clients, fluidité des flux, non-propagation des problèmes, découplage quantitatif, etc.

la mise en fabrication parfois nécessaire : coûts de réglage des machines, coûts des tests, etc. ; là encore, ces coûts sont assimilés à des frais fixes. Enfin, comme chez Lesieur, la pratique montre que les *frais de transport* et de *manutention* chez le fournisseur sont souvent ajoutés aux coûts de passation. Se pose alors le problème de savoir s'ils sont fixes ou variables. La solution se trouve au cas par cas et des systèmes mixtes peuvent se justifier. Ainsi, à première vue, les frais de carburant pourraient être considérés comme indépendants des volumes commandés ; cependant, le poids du chargement influence la consommation du véhicule. C'est pourquoi il est très difficile de trancher. De plus, les progrès réalisés dans les domaines de l'informatisation et des télécommunications expliquent fréquemment la baisse considérable des coûts de passation, qui peuvent devenir quasi nuls dans certaines situations (lancements programmés, utilisation de l'EDI ou d'un extranet).

### 4.3 Le coût de rupture ou de pénurie

C'est certainement le coût le plus difficile à évaluer dans la mesure où la rupture de stock peut avoir deux conséquences :

- soit la vente non réalisée est reportée à la période suivante : le vendeur donne priorité à son client et le sert dès réception de la marchandise. On suppose que ce retard s'évalue financièrement (ouverture d'un dossier, réponses aux relances de la clientèle, pénalités éventuelles à payer aux clients, faveurs accordées pour se faire pardonner le retard, etc.). En théorie, ce coût est fonction du nombre d'unités manquantes et de la durée de la rupture.
- soit la vente non réalisée est définitivement perdue : dans ce cas, le coût de rupture correspond au manque à gagner lié à l'article demandé mais non fourni. Ce manque à gagner est constitué de la marge unitaire sur coût d'achat habituellement réalisée sur le produit et de la dépréciation de l'image de l'entreprise.

À ces trois coûts de stockage peut s'ajouter un coût spécifique, uniquement présent lorsqu'il s'agit de stocks à rotation nulle.

### 4.4 Le coût des invendus

Le surdimensionnement d'un stock à rotation nulle conduit l'entreprise, à l'issue de la période de gestion, soit à brader les produits obsolètes ou démodés, soit à les jeter (ou encore à les offrir à une association humanitaire). Quelle que soit la situation retenue, le sur-stockage entraîne une réduction du bénéfice attendu.

Ainsi, l'entreprise devra effectuer un arbitrage délicat entre ces différents types de coûts, sachant que le principe des vases communicants s'applique de façon complexe :

- stocker de grandes quantités à la fois permet de limiter le coût total de passation, mais conduit à des frais de possession élevés et selon la nature du produit, à des risques d'invendus ;

- stocker de petites quantités à la fois permet de contenir le coût de possession, mais provoque un accroissement des frais de passation, ainsi qu'une augmentation des risques de rupture.

Maintenant que les principaux concepts de gestion des stocks sont posés, nous pouvons passer à l'étude des modèles théoriques, sans toutefois perdre de vue leur grande capacité à résoudre les problèmes plus ou moins complexes que les entreprises rencontrent dans leurs activités quotidiennes.

## Section 2 LA GESTION DES STOCKS EN AVENIR CERTAIN : LE MODÈLE DE WILSON ET SES PROLONGEMENTS

De façon générale, le système à point de commande suppose que l'on approvisionne le stock d'une quantité fixe selon une périodicité variable. En avenir certain, c'est-à-dire dans une situation où la demande et le délai de livraison sont connus à l'avance, on peut améliorer et simplifier le modèle générique en considérant que la périodicité est fixe.

Quantité et périodicité fixes sont les principales caractéristiques du modèle de Wilson. Les hypothèses de ce modèle, souvent jugées avec sévérité, lui confèrent à la fois robustesse et fragilité [1]. Afin d'accroître son intérêt, il est aussi possible de lever certaines hypothèses et de considérer par exemple la possibilité d'un prix fonction des volumes commandés [2].

### 1 Le modèle de base

Le modèle de Wilson concerne essentiellement les *stocks de distribution* (produits finis ou composants gérés comme des marchandises) et suppose une permanence de la consommation du produit concerné de période en période ; il s'agit donc de stocks à rotation non nulle.

#### 1.1 Hypothèses et fonctionnement général du modèle

Afin d'alléger la présentation, nous avons choisi de présenter les différentes hypothèses qui expliquent le fonctionnement du modèle sous forme de liste :

1. l'entreprise ne se préoccupe que d'un produit à la fois ;
2. la demande de ce produit est certaine et distribuée uniformément tout au long de la période (l'évolution du stock sera donc matérialisée par une droite) ;
3. le délai de livraison est certain et constant ;
4. la constitution d'un stock de sécurité est inutile ;

5. l'entreprise décide de ne pas envisager une stratégie de rupture de stock ;
6. le prix des produits est constant et ne dépend pas des volumes commandés ;
7. le stock d'alerte, constant de période en période, est déterminé sur la base de la consommation (connue) pendant le délai de livraison (connu) ;
8. il ne peut y avoir de produit invendu ;
9. le réapprovisionnement du stock s'effectue en une seule fois.

Graphiquement, ces hypothèses peuvent se traduire de la façon suivante :

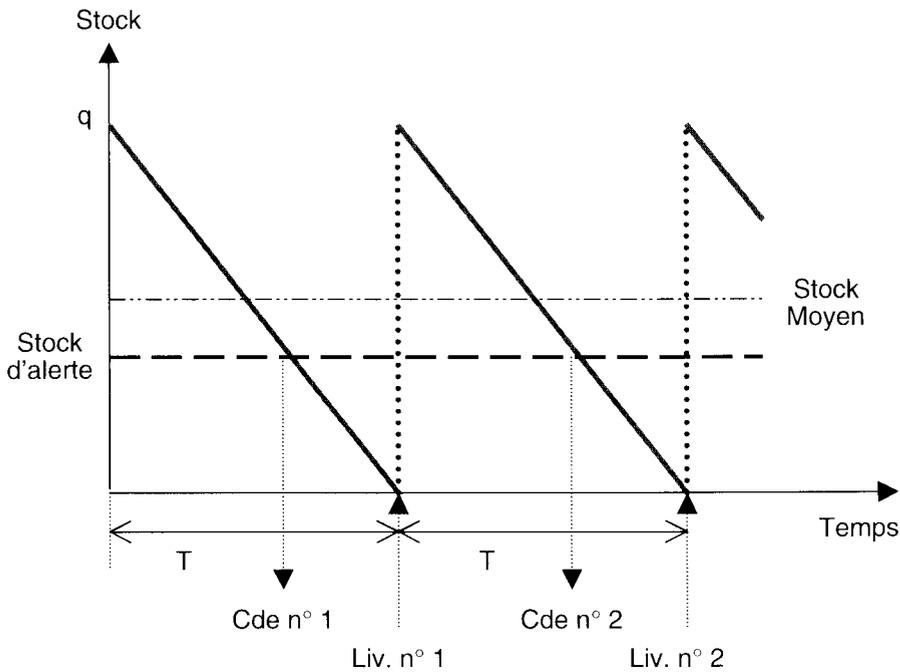


Figure 3.5 : Évolution du stock et modèle de Wilson

## 1.2 Paramètres et variable du modèle

### ► Les paramètres

- le coût de passage d'une commande, ou coût de lancement unitaire, est noté  $C_L$  ;
- le coût de possession :
  - lorsqu'il est exprimé en unités monétaires, est noté  $C_P$  et correspond au coût d'un produit pendant une unité de temps ;

- lorsqu'il est exprimé en pourcentage du prix du produit, est noté  $t$  (on parlera alors du taux de possession) ;
- la quantité demandée en volume sur la période est notée  $D$  ;
- le prix unitaire d'un produit est noté  $P$  ;
- le nombre d'unités de temps dans la période est noté  $\theta$ .

*Remarque* : il est important de noter que l'on peut alternativement utiliser  $C_p$  ou  $t$  sans que cela ne modifie en rien le raisonnement ; d'ailleurs, on doit avoir :  $C_p\theta = Pt$ .

### ► La variable

L'objectif consiste à déterminer soit le volume  $q^*$  d'une commande, soit le nombre  $n^*$  de commandes, qui minimise le coût total de gestion du stock.

## 1.3 Fonction de coût et minimisation

Il est maintenant possible d'explicitier la fonction de coût, notée  $CT$ , somme du coût total de passation et du coût total de possession. Comme nous le précisons dans la section précédente, le coût de possession doit s'appliquer sur le stock moyen et non sur la quantité approvisionnée. Suivant la variable recherchée en priorité, cette fonction pourra dépendre de  $q$  ou de  $n$ . De même, l'usage de  $C_p$  ou de  $t$  est lié aux circonstances. Nous poserons arbitrairement ici :

$$CT(q) = \left[ \frac{D}{q} C_1 \right] + \left[ \frac{q}{2} \theta C_p \right] \quad (1)$$

L'extremum de cette fonction s'obtient aisément par annulation de la dérivée (condition du 1<sup>er</sup> ordre) :

$$\frac{\partial CT}{\partial q}(q) = 0 \Leftrightarrow \left[ -\frac{D}{q^2} C_1 \right] + \left[ \frac{1}{2} \theta C_p \right] = 0$$

Finalement, après simplification, on retient la seule valeur positive :

$$q^* = \sqrt{\frac{2C_1 D}{\theta C_p}} \quad (2)$$

Il est possible de vérifier que pour  $q^*$ , la dérivée seconde de la fonction de coût est positive. L'extremum est donc un minimum (condition du 2<sup>e</sup> ordre) ; on peut ajouter que  $CT(q)$  est une fonction convexe et  $q^*$  un minimum global.

Cette quantité optimale sera appelée « quantité économique », quantité de Wilson, ou souvent EOQ (Economic Order Quantity).

L'évolution des différents coûts en fonction de  $q$  est intéressante à visualiser<sup>1</sup> (cf. figure 3.6) ; nous avons volontairement aplati la courbe de coût total dans la zone de son minimum, car les variations du coût total sont effectivement très faibles autour de  $q^*$ , comme nous le montrerons dans le paragraphe suivant. On pourra donc sans crainte retenir une valeur arrondie de  $q^*$  et, ainsi, améliorer la cohérence de la solution proposée par le modèle.

Une fois que l'on a obtenu la valeur optimale  $q^*$ , il est aisé de calculer :

- le nombre optimal de commandes :  $n^* = D/q^*$  ;
- le coût total minimum, en reportant la valeur numérique de  $q^*$  dans l'égalité (1) ;
- durée de la période de réapprovisionnement :  $T^* = \theta/n^*$ .

Notons que la détermination du *stock d'alerte* est indépendante de la détermination de  $q^*$ . En effet, le point de commande ne dépend que de la vitesse d'écoulement du stock et du délai de la livraison<sup>2</sup>, et non des coûts associés au stockage.

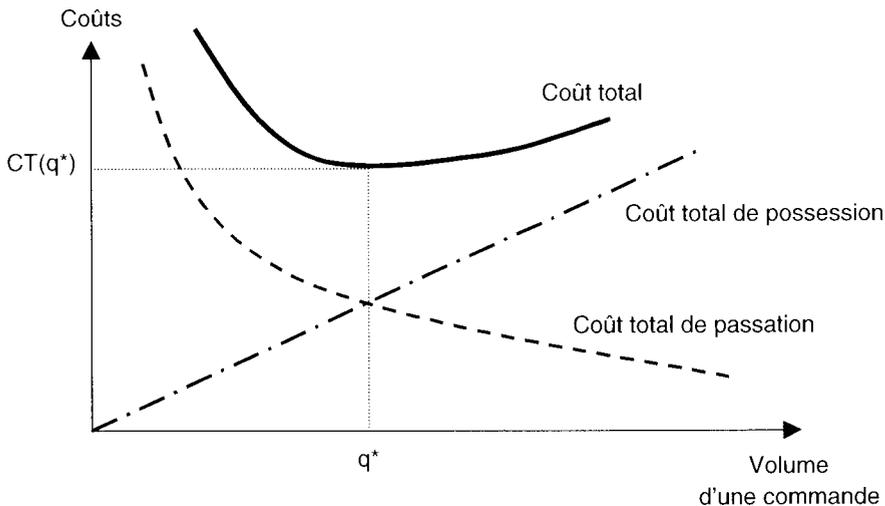


Figure 3.6 : Coût de possession, coût de passation, coût total

1. On peut facilement démontrer que pour la quantité économique  $q^*$ , le coût total de passation est égal au coût total de possession.
2. Ainsi, deux situations de complexité différente apparaissent selon que la valeur de  $q^*$  est supérieure ou inférieure au point de commande. Le premier cas ne pose guère de difficulté ; en revanche, le second suppose l'existence de *plusieurs commandes en cours* et fait référence à la technique de l'approvisionnement en noria.

## 1.4 Fragilité et robustesse du modèle de Wilson

Parce que les hypothèses du modèle sont nombreuses et restrictives, le modèle de Wilson peut apparaître comme fragile et d'application particulièrement limitée. Ainsi, le fait de se placer en avenir certain, alors que l'environnement économique se situe davantage en avenir risqué, peut laisser croire à un manque de pertinence du modèle. Outre le fait qu'il est d'utilisation aisée, trois arguments plaident en sa faveur et atténuent la portée des critiques précédentes, dont nous ne nions pas l'existence.

Tout d'abord, il est d'une grande *logique*. Dans leurs choix quotidiens, les responsables de la gestion des stocks (ou des achats) sont effectivement confrontés à l'arbitrage mis en évidence par ce modèle : commander peu mais souvent ou commander beaucoup mais rarement.

Ensuite, tout en lui conservant son ossature initiale, le retrait de certaines hypothèses lui permet d'être plus proche des préoccupations concrètes d'entreprises. La prise en considération de prix dégressifs (§2), ou de contraintes financières, physiques ou de transport améliore considérablement son intérêt.

### **REPÈRES :** Les entreprises s'appuient encore sur un raisonnement « à la Wilson »

Dans le cadre du Salon Progilog consacré au *supply chain management*, le directeur exécutif<sup>1</sup> de la société de conseil E3 France, a précisé qu'un des points clés d'une stratégie de CPFR consistait pour une entreprise à *trouver l'équilibre entre les coûts d'acquisition et les coûts de possession*, tout en tenant compte des *contraintes* telles que les minima de livraison ou les multiples de transport. Il ne faut donc pas systématiquement croire que le modèle de Wilson soit si éloigné des réalités que certains le suggèrent.

1. Il s'agit de J.-M. Fiévé, qui a animé une conférence sur le CPFR (Collaborative Planning Forecasting and Replenishment) le mardi 21 nov. 2000, au CNIT La Défense. Dans le chapitre consacré à la logistique, nous reviendrons en détail sur le CPFR.

Enfin, ne perdons pas de vue qu'il s'agit d'un modèle et qu'à ce titre, il n'aspire pas à l'universalité, mais plus modestement à fournir une *aide à la décision*. Sur ce point, le modèle de Wilson joue parfaitement son rôle, d'autant plus que la *sensibilité* de ses résultats à des variations de la quantité optimale ou à des variations des paramètres est assez réduite. Cette faible sensibilité est un atout, car il vaut toujours mieux disposer d'une direction à suivre et d'informations, mêmes imprécises, que d'être dans l'obscurité la plus totale.

## REPÈRES : Le CNL-PR de Ford : EOQ et MSQ (suite du Repères page 137)

Le logiciel calcule un EOQ (Economic Order Quantity) pour chaque pièce, en fonction de paramètres évalués par les services comptables (coût de lancement, taux de possession de 22 %). Mais de nombreuses *contraintes* doivent être intégrées.

Ainsi, le logiciel fournit aussi une valeur complémentaire, le MSQ (Minimum Schedule Quantity) qui tient compte de paramètres non intégrés dans le calcul de l'EOQ, tels que la *capacité des containers* de stockage. Certains fournisseurs locaux livrent même par camion entier, ce qui conduit parfois le MSQ à s'éloigner considérablement de l'EOQ. Cependant, puisque l'EOQ est une valeur optimale, la règle générale consiste à choisir un MSQ le plus proche possible de l'EOQ.

En plus du MSQ, une réponse différenciée peut être apportée selon le type de pièce :

- sur les pièces très chères mais très demandées, lorsque l'EOQ trouvé est trop faible, le responsable de la référence peut décider de dimensionner le stock à 1 semaine de stock ;
- sur les pièces de moyenne valeur, on pourra avoir 1 mois de stock ;
- sur les pièces de faible valeur (écrous, boulons...), on préférera avoir 6 mois de stock.

### ► La fonction de coût total est aplatie autour de $q^*$

Comme l'indique la figure 3.6, la courbe de coût total est relativement plate autour de la valeur optimale ; cela signifie qu'une variation de cette valeur n'entraînera qu'une faible variation du coût total.

Pour une valeur  $q$  quelconque, le coût total de gestion de stock est donné par l'égalité (1) ; nous connaissons la quantité économique, égalité (2). Ainsi, à l'optimum, le coût total peut s'écrire en remplaçant  $q$  par (2) dans (1) ; on a alors :

$$CT(q) = \left[ \frac{D}{\sqrt{\frac{2DC_L}{C_p\theta}}} C_L \right] + \left[ \frac{\sqrt{\frac{2DC_L}{C_p\theta}}}{2} C_p\theta \right]$$

Cette expression se simplifie, et on obtient finalement :

$$CT(q^*) = \sqrt{2DC_L C_p\theta} = C_p\theta q^*$$

Au voisinage de  $q^*$ , par exemple lorsqu'on considère  $\alpha q^*$  avec  $\alpha$  proche de 1, le coût total s'écrit :

$$CT(\alpha q^*) = \left[ \frac{D}{\alpha q^*} C_L \right] + \left[ \frac{\alpha q^*}{2} C_p\theta \right]$$

Si on veut comparer le coût précédent au coût minimum, il suffit d'effectuer le rapport  $r$  de ces deux coûts, c'est-à-dire :  $r = CT(\alpha q^*)/CT(q^*)$

Après quelques simplifications, on trouve :

$$r = \frac{CT(\alpha q^*)}{CT(q^*)} = \frac{1}{2\alpha} + \frac{\alpha}{2}$$

On constate que si  $\alpha$  est proche de 1, alors  $r$  est lui aussi voisin de 1. Cela signifie qu'autour de la quantité économique, le coût total ne varie que très faiblement. Afin d'illustrer le résultat obtenu, présentons quelques valeurs numériques et indiquons l'augmentation du coût total associée au choix de  $\alpha$  (en %) :

Tableau 3.6 : Sensibilité du coût total à des variations de  $q$

Valeur du coefficient $\alpha$	<b>0,70</b>	0,90	0,95	1	1,05	1,10	<b>1,30</b>
Valeur de $r$	1,0642	1,0055	1,0013	1	1,0012	1,0045	1,0346
Augmentation de CT par rapport à $CT(q^*)$	<b>6,42 %</b>	0,55 %	0,13 %	<b>0 %</b>	0,12 %	0,45 %	<b>3,46 %</b>

On constate que si on choisit une quantité  $q$  dans un intervalle de  $[-30\% : +30\%]$  autour de  $q^*$ , le coût total n'augmente au maximum que de 6,42 % par rapport à sa valeur minimale. Autour de  $q^*$ , la courbe de coût est donc bien aplatie, comme le suggérait le graphique.

### ► *Variation des paramètres du modèle*

Nous savons que les coûts qui entrent dans la composition du coût total sont difficiles à estimer ; nous savons par ailleurs que la demande est rarement connue avec certitude. Ainsi, pour de multiples raisons (erreurs, mauvaises prévisions, données comptables insuffisantes),  $D$ ,  $C_p$  et  $C_L$  sont susceptibles de s'éloigner de la valeur prise comme référence. C'est pourquoi il est utile de mesurer la sensibilité des solutions à des modifications des paramètres initiaux, tant sur la quantité optimale que sur le coût total optimal. À l'aide d'un tableur, il est facile d'obtenir les résultats du tableau 3.7.

Les résultats de ce tableau signifient que des *erreurs multiples et significatives* dans la détermination des trois paramètres (+ ou - 30 %) :

- ont des *conséquences limitées* sur la quantité optimale, puisqu'en général, cette dernière ne varie que de + ou - 15 % environ ;
- ont une *influence particulièrement faible* sur le coût total, qui n'augmente souvent que de 1 ou 2 %, et rarement de 10 ou 12 %.

C'est pourquoi on peut dire que le modèle de Wilson, malgré des hypothèses restrictives, est un modèle assez robuste qui accepte des imprécisions dans la

Tableau 3.7 : Étude de la sensibilité du modèle de Wilson – Quelques cas particuliers

Variation de D	Variation de $C_L$	Variation de $C_p$	Influence <sup>1</sup> des variations sur les valeurs optimales	
			$q^*$	$CT(q^*)^2$
+ 30 %	+ 30 %	+ 30 %	+ 14 %	+ 1 %
+ 30 %	+ 30 %	- 30 %	+ 55 %	+ 10 %
+ 30 %	- 30 %	- 30 %	+ 14 %	+ 1 %
+ 30 %	- 30 %	+ 30 %	- 16 %	+ 2 %
- 30 %	- 30 %	- 30 %	- 16 %	+ 2 %
- 30 %	- 30 %	+ 30 %	- 39 %	+ 12 %
- 30 %	+ 30 %	+ 30 %	- 16 %	+ 2 %
- 30 %	+ 30 %	- 30 %	+ 14 %	+ 1 %

1 Comme la précision des résultats n'a que peu d'importance, toutes les valeurs ont été arrondies.

2 On pourra utiliser les résultats du tableau 3.6 pour vérifier les variations du CT.

détermination de ses paramètres, sans que le coût total de gestion du stock n'en soit considérablement affecté.

## 1.5 Étude de cas

L'entreprise Détech décide de gérer son stock de produits A suivant le modèle de Wilson. Elle estime que le coût de possession de son stock est de 30 % et que le coût de passation d'une commande à son fournisseur, l'entreprise Hi-Devices, est de 260 €. Les ventes annuelles de produits A, 400 unités, sont particulièrement stables depuis des années et le prix de vente s'établit à 150 €. Le délai de livraison du fournisseur est de 18 jours. Déterminons la politique optimale de gestion du stock de produits A.

L'utilisation directe de la formule de Wilson permet de trouver une quantité économique égale à  $q^* = 68$ . On en déduit un nombre optimal de commandes de  $n^* = 5,88$ . Par souci de réalisme, *il est toujours préférable de proposer des solutions opérationnelles*, et, donc, d'arrondir les résultats lorsque c'est nécessaire. L'entreprise Détech passera donc 6 commandes de 67 unités (400/6) tous les 60 jours (360/6), à chaque fois que le stock tombera à un niveau de 20 produits. En effet, le stock d'alerte correspond à 18 jours de consommation, c'est-à-dire à  $18 \times (400/360) = 20$  produits. Le coût total ne sera calculé que pour les solutions réalistes. Ici, on a :  $CT(6) = 3\,068$  €.

Nous poursuivrons et compléterons cette étude de cas tout au long du chapitre. À chaque fois que nous le pourrons, par souci de clarté, nous présenterons les solutions en tableau.

## 2 Modèle de Wilson et tarifs dégressifs

Pour de multiples raisons, l'acheteur peut disposer d'un *pouvoir de négociation* et obtenir de son fournisseur des conditions préférentielles. C'est le cas d'un certain nombre d'entreprises puissantes et de grands distributeurs qui, à cause de l'importance des quantités commandées, négocient âprement les prix d'achat à leurs fournisseurs. Ces derniers proposent souvent des *barèmes dégressifs* en fonction du volume des commandes ; c'est pourquoi il faut en tenir compte dans la gestion des stocks et lever l'hypothèse (n° 6) présentée plus haut.

Imaginons que le fournisseur Hi-Devices propose à son client Détech la grille tarifaire suivante :

Volume des commandes	Taux de la remise en % par rapport au prix de base	Prix unitaire en €
De 1 à 99	0	150
De 100 à 199	10 %	135
De 200 à 400	30 %	105

Sur le plan pratique, les solutions sont nombreuses et les arrangements contractuels sont à étudier au cas par cas. Cependant, deux modalités d'application des tarifs dégressifs se retrouvent fréquemment :

- *le tarif dégressif uniforme* : passé un seuil, tous les articles commandés bénéficieront de la réduction, y compris les premiers. Avec la grille précédente, si le volume des commandes s'établit à 250, l'acheteur bénéficiera d'un prix unitaire de 105 € sur chacun des 250 produits ;
- *le tarif dégressif incrémental* : la réduction ne concernera qu'une tranche spécifique d'articles, et pas la tranche précédente. Dans ce cas, pour des commandes de 250 produits, le client en achètera 99 à 150 €, 100 à 135 € et 51 à 105 €.

Devant la lourdeur d'une analyse purement théorique, nous préférons étudier ces deux modalités en nous appuyant sur l'exemple chiffré présenté ci-dessus.

### 2.1 Tarifs dégressifs uniformes

Puisque le prix des produits baisse en fonction des quantités achetées, il est nécessaire d'intégrer la valeur totale des marchandises commandées dans le raisonnement économique. Il n'existe pas une seule fonction de coût total, mais autant de fonctions que de prix possibles :

$$CT_i(q) = [DP_i] + \left[ \frac{D}{q} C_i \right] + \left[ \frac{q}{2} tP_i \right] \quad \text{avec ici : } i = 1,2,3$$

L'objectif de minimisation conduit au même résultat que celui obtenu pour le modèle de base, c'est-à-dire :

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2C_1 D}{P_i t}}$$

Par rapport au modèle précédent, la seule difficulté provient du fait que certaines valeurs optimales peuvent ne pas correspondre aux hypothèses qui ont servi à les calculer ; dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer un calcul aux bornes de l'intervalle de prix considéré et de ne retenir que le coût total le plus faible.

Présentons les résultats sous forme de tableau (cf. tableau 3.8) et remarquons que les calculs de la 1<sup>ère</sup> tranche ont déjà été effectués dans le § 1 puisqu'il s'agit du prix de base. On constate que le coût total le plus faible est obtenu pour une quantité de commande égale à 200 unités. *La solution consistera donc à passer par un 2 commandes de 200 produits.*

Tableau 3.8 : Tarifs dégressifs uniformes – Présentation synthétique des résultats

Intervalles tarifaires Prix unitaire	1 <sup>ère</sup> tranche : [1-99] 150 €	2 <sup>e</sup> tranche : [100-199] 135 €	3 <sup>e</sup> tranche : [200-400] 105 €
Quantité économique	$q_1^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 260 \cdot 400}{150 \cdot 0,3}}$ <b>68</b>	$q_2^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 260 \cdot 400}{135 \cdot 0,3}}$ <b>71,7</b>	$q_3^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 260 \cdot 400}{105 \cdot 0,3}}$ <b>81,3</b>
q* appartient-elle à l'intervalle de référence ?	Oui	Non	Non
Coût total pour q*	63 059 €	<i>calcul inutile</i>	<i>calcul inutile</i>
Coût total pour la borne inférieure de l'intervalle	<i>calcul inutile</i>	CT(100) = 57 065 €	CT(200) = 45 670 €
Coût total pour la borne supérieure de l'intervalle	<i>calcul inutile</i>	CT(199) = 58 552 €	CT(400) = 48 560 €

L'analyse graphique permet d'améliorer la compréhension du mécanisme. Une attention particulière accordée à la forme des courbes de coût permet de mettre en lumière le fait que la dernière tranche n'est pas toujours celle qui conduit à l'optimum.

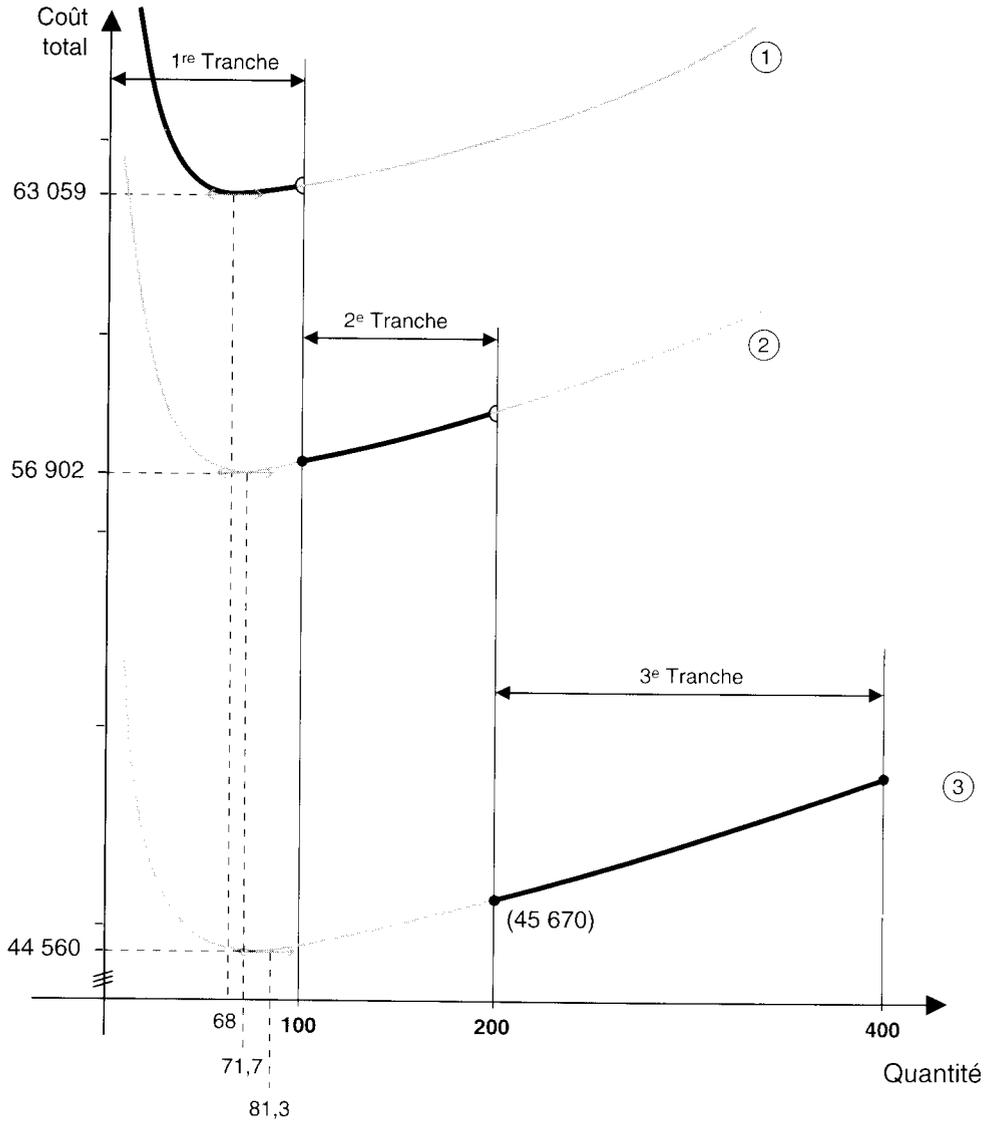


Figure 3.7 : Courbes de coût dans le cas d'un tarif dégressif uniforme

## **REPÈRES :** Lesieur : coût de stockage, contraintes de transport et optimisation du coût global<sup>1</sup> (suite du Repères de la page 153)

Nous venons de montrer qu'il est naturel qu'un client puisse bénéficier de conditions tarifaires d'autant plus avantageuses que le volume de ses commandes est important. Cependant, la réalité n'est jamais aussi simple que la théorie. Ainsi, avant l'intervention de la société de conseil Diagma chez Lesieur, deux sources d'inefficacité n'étaient pas maîtrisées :

- 1 - Tout d'abord, le tarif de Lesieur était un « tarif à colonnes construit en litres », c'est-à-dire un tarif dégressif par paliers de volume croissant. Or, on sait bien que l'unité de mesure dans les transports est le plus souvent une unité « discrète » : la palette<sup>2</sup>. Il y avait donc une inadéquation entre la grille tarifaire proposée et la logique du transport. Comme la part du transport dans le coût global est importante, le transport devient l'élément à optimiser en priorité. C'est pourquoi la livraison par camion complet sera préférée, tant pour le fournisseur que pour le client. Ce qui nous conduit à remarquer que l'unité discrète n'est plus la palette mais le camion. Aujourd'hui, environ 95 % des livraisons de Lesieur se font par camion complet.

L'évolution du coût complet d'achat en fonction du volume de la commande en palettes, pour des entrepôts clients dont la consommation annuelle dépasse 1 500 palettes, est approximativement donnée par la figure 3.8 (par souci de confidentialité, le coût complet en francs n'est pas indiqué). Le *coût d'achat complet* comprend : le prix du produit, coûts physique et financier du stockage, coût administratif de passation de commande et le coût de réception.

- 2 - De plus, dans l'ancien système, que la palette soit constituée de produits identiques ou différents n'influçait pas le prix ; or, dans la plupart des cas, la préparation d'une palette « hétérogène » est forcément plus coûteuse pour Lesieur. Il a été montré par Diagma que c'est toujours vrai pour les produits à forte rotation, comme l'huile de tournesol. En revanche, pour les produits à faible rotation (cas des huiles à goût), la palettisation hétérogène pouvait s'avérer optimale.

1. Analyse élaborée à partir d'une étude de *Logistiques Magazine* : « Lesieur, une logistique bien huilée », n° 152, nov. 2000.

2. Le terme « discrète » s'oppose à continu : cela signifie que le volume transporté ne peut pas prendre toutes les valeurs d'un intervalle réel donné, mais quelques valeurs seulement.

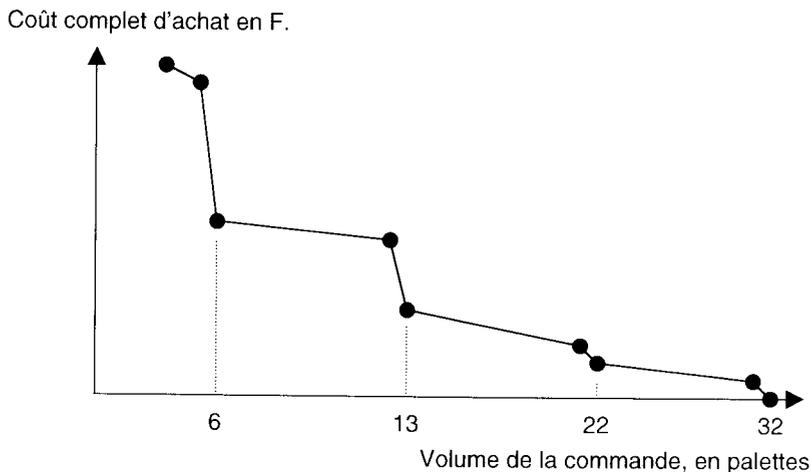


Figure 3.8 : Évolution du coût complet d'achat en fonction du volume de la commande chez Lesieur

Les modèles avec tarifs dégressifs conduisent fréquemment les entreprises à commander de gros volumes et à prendre comme unité, non pas le produit, mais un multiple du produit (un carton, une palette, un conteneur, un camion, etc.). Cette situation est illustrée par la stratégie de Lesieur. De plus, pour certains produits, les résultats de Diagma mettent en évidence l'intérêt de commandes groupées ; ce cas sera abordé dans la section suivante. Avant, nous examinerons le second modèle de référence concernant les tarifs dégressifs.

## 2.2 Tarifs dégressifs incrémentaux

Dans l'hypothèse d'un tarif incrémental, le *prix d'achat n'est plus unique* dès lors que l'on étudie les tranches deux et trois (et plus dans le cas général). Seule l'analyse de la 1<sup>re</sup> tranche est identique à ce qui a été effectué dans le § 2.1 ; les résultats obtenus à cette occasion sont  $q^* = 68$  produits et  $CT(68) = 63059$  €.

### ► Étude de la 2<sup>e</sup> tranche

Lorsque la quantité commandée  $q$  est comprise entre 100 et 199, le coût d'un approvisionnement se décompose en 2 éléments :

- le coût d'acquisition des 99 premiers produits payés 150 € l'unité, c'est-à-dire au total :  $150 \times 99$  €,
- le coût d'acquisition des  $(q - 99)$  autres produits, payés 135 € l'unité, c'est-à-dire :  $135 \times (q - 99)$  €.

Finalement, le coût d'un approvisionnement en euros, noté  $CAP_2$ , est égal à :

$$CAP_2 = [150 \times 99] + [135 \times (q - 99)]$$

Or, on sait que le nombre total d'approvisionnements par an est égal à  $400/q$  ; on peut en déduire le coût total annuel des approvisionnements (noté  $CAPT_2$ ), ainsi que la valeur du stock moyen en € (notée  $SM_2$ ) :

$$CAPT_2 = \frac{400}{q} \times CAP_2$$

$$SM_2 = \frac{CAP_2}{2}$$

Ces éléments nous permettent d'écrire le coût total de gestion du stock (notée  $CT_2(q)$ ) lorsque la quantité commandée  $q$  appartient à l'intervalle  $[100 - 199]$  :

$$CT_2(q) = [SM_2 \times 30 \%] + [CAPT_2] + \left[ \frac{400}{q} \times 260 \right]$$

$$= \left[ \frac{CAP_2}{2} \times 30 \% \right] + \left[ \frac{400}{q} \times CAP_2 \right] + \left[ \frac{400}{q} \times 260 \right]$$

Pour obtenir la valeur optimale  $q^*$ , il faut effectuer quelques opérations mathématiques sur  $CT_2$  (calculer la dérivée, trouver la valeur qui l'annule, vérifier qu'il s'agit bien d'un minimum). Nous invitons le lecteur à retrouver par le calcul le résultat suivant :

$$q_2^* = \sqrt{\frac{2 \times 400 \times [260 + K_2]}{135 \times 30 \%}} = 185,66$$

avec :  $K_2 = (150 - 135) \times 99 = 1\,485$

Une fois la valeur optimale obtenue, il faut vérifier si elle appartient ou non à la tranche tarifaire dans laquelle on s'est placé par hypothèse ; on doit ensuite calculer la valeur du coût total, soit pour  $q^*$ , soit pour les bornes de l'intervalle.

Ici,  $q^* = 185,67$  appartient à l'intervalle  $[100 - 199]$  ; on peut donc calculer le coût pour cette valeur :  $CT_2(185,66) = 61\,742$  €.

Il faut maintenant adopter un raisonnement identique pour la 3<sup>e</sup> tranche. Nous n'en présenterons que le début, la suite étant identique.

### ► Étude de la 3<sup>e</sup> tranche

Si la quantité commandée est supérieure à 200, le coût d'un approvisionnement se décompose maintenant en 3 éléments :

- le coût d'acquisition des 99 premières unités, c'est-à-dire :  $150 \times 99$  €,
- le coût d'acquisition des 100 unités suivantes, c'est-à-dire :  $135 \times 100$  €,
- le coût d'acquisition des  $(q - 199)$  autres unités, c'est-à-dire :  $105 \times (q - 199)$  €.

Ainsi, le coût d'un approvisionnement en euros, noté  $CAP_3$ , est égal à :

$$CAP_3 = [150 \times 99] + [135 \times 100] + [105 \times (q - 199)]$$

Le raisonnement est ensuite identique à ce qui a été fait précédemment. À titre d'entraînement, nous invitons le lecteur à retrouver par le calcul le résultat suivant :

$$q_3^* = \sqrt{\frac{2 \times 400 \times [260 + K_3]}{105 \times 30 \%}} = 442,65$$

$$\text{avec : } K_3 = [(150 - 105) \times 99] + [(135 - 105) \times 100] = 7\,455$$

La valeur 442,65 n'appartient pas à l'intervalle de référence ; il faut donc calculer le coût total aux bornes de cet intervalle. Or, on sait que la courbe de coût est décroissante jusqu'à son minimum, puis croissante. La quantité  $q = 400$  fournira forcément le coût le plus faible  $CT_3(400) = 57\,133 \text{ €}$  (il est inutile de calculer  $CT(200)$ ).

### ► *Choix du meilleur tarif*

Pour conclure, nous devons choisir la valeur de  $q$  qui fournit le coût total le plus faible parmi les trois solutions intermédiaires proposées :

$$\text{si } 1 \leq q \leq 99 : \quad CT_1(68) = 63\,059 \text{ €},$$

$$\text{si } 100 \leq q \leq 199 : \quad CT_2(185,67) = 61\,742 \text{ €},$$

$$\text{si } 200 \leq q \leq 400 : \quad CT_3(400) = 57\,133 \text{ €}.$$

La stratégie d'approvisionnement de l'entreprise Détech consistera donc à se faire livrer en une seule fois la totalité de sa consommation de produits A, soit une commande de 400 unités pour l'année. Le résultat est donc différent de celui trouvé avec un tarif uniforme.

### ► *Généralisation de la méthode*

Dans le but d'alléger la présentation, nous n'avons pas souhaité effectuer la démonstration mathématique formelle permettant de déterminer la quantité optimale dans le cadre d'une tarification incrémentale. Cette dernière est presque identique à la formule du modèle de base, au coefficient  $K_i$  près :

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2 \times D \times [C_1 + K_i]}{P_i \times t}}$$

avec  $q_i$ ,  $P_i$  et  $K_i$  les valeurs de la tranche tarifaire n°  $i$  ( $K_1 = 0$ ).

Il est possible de s'interroger sur ce que représentent concrètement les valeurs  $K_i$ . Il s'agit du surcoût que l'entreprise doit déboursier pour bénéficier du prix  $P_i$ , sachant que certaines unités sont achetées à des prix supérieurs à  $P_i$  (prix des tranches précédentes).  $K$  est parfois interprété comme un supplément qui s'ajoute au coût de passation, et qui augmente par pallier lorsque la quantité commandée est à rechercher

dans l'intervalle tarifaire suivant. Enfin, il peut aussi mesurer le supplément de coût imputable au passage d'une stratégie de tarifs dégressifs uniformes à un système de tarification incrémentale.

Comme le suggère l'exemple de Détech, l'application par le fournisseur de tarifs dégressifs, uniformes ou incrémentaux, permet à l'entreprise de réaliser de substantielles économies. Or, il est fréquent que ces stratégies conduisent à des approvisionnements plutôt volumineux. Même si les avantages financiers dominent (cas de l'entreprise Lesieur), certains inconvénients ne sont pas à négliger :

- l'entreprise doit posséder des capacités physiques de stockage adaptées (entrepôts, chambres froides, locaux stériles ou protégés de la poussière, etc.) et cela n'est pas toujours possible ou nécessite d'importants investissements ;
- l'entreprise doit pouvoir payer ces forts volumes sans que ces achats ne pèsent trop sur ses comptes et ne conduisent à d'excessives immobilisations de capitaux.

Enfin, dans un environnement changeant et dans un contexte de réduction des stocks (stratégie de juste-à-temps), la crédibilité de telles politiques peut être remise en question. C'est pourquoi nous allons maintenant nous intéresser à des modèles de gestion de stock sous contraintes.

Section

3

## LA GESTION INTÉGRÉE DES APPROVISIONNEMENTS ET DES STOCKS EN AVENIR CERTAIN

Dans le cadre d'une *gestion intégrée* des commandes, où les services situés en amont et en aval sont concernés, il est aujourd'hui nécessaire de tenir compte d'un certain nombre de contraintes, qui n'étaient initialement pas présentes dans les modèles de base. Aujourd'hui, les multiples partenariats tissés entre les entreprises et leurs fournisseurs nous conduisent à envisager par exemple des regroupements d'approvisionnements lorsque plusieurs produits sont commandés chez le même fournisseur.

Même si cette politique est parfois imposée par un fournisseur désireux de rationaliser ses livraisons, nous verrons qu'elle peut aussi procurer au client de substantiels avantages, comme l'étude de la stratégie de Lesieur l'a déjà suggéré [1]. De même, la gestion des stocks ne peut plus s'envisager comme isolée des autres services de l'entreprise. Depuis quelques années, les responsables qui gèrent les stocks s'orientent vers leur réduction progressive ; les « *sirènes japonaises* » les ont poussés à faire d'importants efforts dans le cadre de l'application du juste-à-temps et de la chasse au gaspillage. Le gaspillage des ressources financières pourra ainsi être freiné en fixant un maximum à la valeur des immobilisations en stock [2] et le gaspillage de place pourra être limité en définissant des surfaces et/ou des volumes de stockage raisonnables [3].

Dans cette section, nous poursuivons l'exemple de l'entreprise Détech, en considérant qu'elle est multi-produits, et que les 7 références suivantes concernent le fournisseur Hi-Devices. Les paramètres du modèle initial restent valables ( $t = 30\%$  ;  $C_L = 260$  €).

Tableau 3.9 : Informations sur les produits achetés à Hi-Devices

Référence produit	Demande annuelle (nb de produits)	Prix unitaire (en euros)	Valeur de la consommation annuelle (en euros)
A	400	150	60 000
B	350	140	49 000
C	300	80	24 000
D	90	50	4 500
E	90	40	3 600
F	50	70	3 500
G	80	40	3 200
Total			147 800

## 1 Le regroupement des commandes : une stratégie « gagnant-gagnant »

Même si les gains ne sont pas toujours de nature identique, client et fournisseur peuvent chacun bénéficier de la mise en place d'une stratégie de regroupement des commandes, imposée ou non par l'un des deux partenaires.

### 1.1 Le fournisseur impose certains regroupements à son profit

Imaginons dans un premier temps que les produits soient gérés individuellement par l'entreprise Détech, en application du modèle de Wilson, sans que le fournisseur n'impose de contrainte. Nous effectuons un calcul répétitif et nous trouvons que cette politique se traduit (*cf.* tableau 3.10, [a]) :

- par un coût de stockage de 10 948 € ;
- et par une valeur moyenne immobilisée de 17 400 €.

Afin d'améliorer sa rentabilité, Hi-Devices souhaite renégocier les contrats d'approvisionnement conclus avec Détech, pour que ce dernier accepte de grouper les commandes de certains produits :

- A et B avec 8 approvisionnements par an ;
- D, E, F, et G avec 2 approvisionnements par an ;
- C reste isolé avec 4 approvisionnements par an.

Tableau 3.10 : Comparaison des modèles

Référence produit	[ a ] Gestion des stocks individualisée			[ b ] Gestion des stocks avec regroupements		
	Nombre optimal de cdes (arrondie)	Valeur moyenne du stock (en €)	Coût de stockage (en €)	Nombre imposé de cdes	Valeur moyenne du stock (en €)	Coût de stockage (en €)
A	6	5 000 <sup>1</sup>	3 068	8	3 750	3 205
B	5	4 900	2 770	8	3 063	3 000
C	4	3 000	1 940	4	3 000	1 940
D	2	1 125	858	2	1 125	858
E	2	900	790	2	900	790
F	2	875	783	2	875	783
G	1	1 600	740	2	800	760
		17 400	10 948		13 513	11 335

<sup>1</sup> Il s'agit du stock moyen en valeur, soit par exemple pour A :  $(150 \times 400)/(2 \times 6)$ .

Est-il de l'intérêt de Détech d'accepter cette modification ? La réponse suppose de prendre en considération les nouvelles périodicités « imposées » par le fournisseur. Les résultats de cette politique sont présentés dans la partie [b] du tableau 3.10. Au total, le coût de stockage s'élève à 11 335 € (contre 10 948) et la valeur moyenne immobilisée en stock est de 13 513 € (contre 17 400). Finalement, le coût de stockage a augmenté de 3,5 % alors que la valeur moyenne en stock a baissé de 22 %. Contrairement à ce que la non-optimalité de cette solution pouvait laisser prévoir, elle est assez favorable à Détech puisque :

- l'entreprise s'oriente ainsi vers le « zéro stock », souvent souhaité par les responsables du service achats ou plus généralement par les dirigeants ;
- tout en ne s'éloignant que très peu du coût total optimal ;
- et se donne enfin la possibilité de mieux s'occuper des produits les plus importants.

Cette illustration met en évidence le rôle essentiel du « bon sens » et le nécessaire recul dont les responsables doivent faire face dans l'usage des modélisations de gestion. Ces dernières, que l'on retrouve dans de nombreux logiciels, sont à manipuler avec prudence et en toute connaissance de cause.

## 1.2 La stratégie du regroupement généralisé des approvisionnements

Sans y être nécessairement poussée par un fournisseur « tyrannique », l'entreprise peut aussi décider de rationaliser la gestion de ses multiples stocks, en regroupant

toutes les commandes passées à un même fournisseur sur un même bon de commande. Dans la grande distribution, l'engouement pour le *category management* a conduit les chefs de rayon et de secteur à revoir leur politique d'approvisionnement dans le sens d'une rationalisation des commandes.

Pour une politique de regroupement généralisé, il est d'abord nécessaire de déterminer le nombre  $n^*$  de commandes groupées qui minimise le coût de gestion du stock. Il sera ensuite possible de calculer la quantité optimale à commander pour chaque article.

Les paramètres de gestion sont les mêmes que ceux du modèle de base, à l'exception des *frais de passation*, dont on peut raisonnablement supposer qu'ils sont maintenant formés d'une partie fixe (notée  $C_{L,1}$ ) et d'une partie variable (notée  $C_{L,2}$ ), fonction du nombre (noté  $k$ ) de produits rassemblés sur le bon de commande.

Le coût de gestion du stock s'écrit donc :

$$CT(n) = n(C_{L,1} + kC_{L,2}) + \sum_{i=1}^k \frac{D_i P_i t}{2n}$$

Il suffit ensuite d'annuler la dérivée pour trouver la valeur  $n^*$  qui minimise ce coût (on pourra vérifier que la condition du second ordre est bien respectée) :

$$\frac{\partial CT(n)}{\partial n} = 0 \Leftrightarrow C_{L,1} + kC_{L,2} - \frac{t}{2n^2} \sum_{i=1}^k D_i P_i = 0$$

On ne retient que la solution positive :

$$\rightarrow n^* = \sqrt{\frac{t \sum_{i=1}^k D_i P_i}{2(C_{L,1} + kC_{L,2})}}$$

À l'occasion de chaque commande, la quantité économique pour chaque produit ( $q_i^*$ ) est donc déterminée par le rapport :  $q_i^* = D_i / n^*$ .

À titre d'illustration, imaginons que l'entreprise Détech souhaite mettre en œuvre une telle stratégie. Il a été établi que :  $C_{L,1} = 200$  € et  $C_{L,2} = 60$  €. L'application de la formule précédente donne un résultat que nous allons arrondir ; Les conséquences de cette périodicité unique sont présentées dans le tableau 3.11.

$$n^* = \sqrt{\frac{30\% \times 147\,800}{2 \times [200 + (7 \times 60)]}} = 5,98 \approx 6$$

Cette stratégie permet à l'entreprise de réaliser d'importantes économies, tant en ce qui concerne le coût total de gestion du stock (gain de  $10\,948 - 7\,449 = 3\,499$  €)

Tableau 3.11 : Regroupement généralisé des approvisionnements

Nombre optimal de commandes groupées = 6					
Référence des k produits	Demande annuelle	Prix unitaire (en €)	Quantité optimale $q^*$	Coût de possession du stock	Valeur moyenne du stock
A	400	150	67	1 508	5 025
B	350	140	59	1 239	4 130
C	300	80	50	600	2 000
D	90	50	15	113	375
E	90	40	15	90	300
F	50	70	9	95	315
G	80	40	14	84	280
Coût de possession total				<b>3 729</b>	<b>12 425</b>
Coût de passation total ( $6 \times (200 + 7 \times 60)$ )				<b>3 720</b>	
Coût total de gestion du stock				<b>7 449</b>	

qu'en ce qui concerne la valeur immobilisée en stock (en baisse de  $17\,400 - 12\,425 = 4\,975$  €).

### 1.3 La stratégie de regroupement sélectif

L'entreprise peut prolonger la technique précédente, à l'aide de la méthode ABC, dans le but de ne pas regrouper sur un bon de commande unique tous les articles, sans distinction, d'un même fournisseur. L'objectif consiste à déterminer une *périodicité de base* pour une catégorie de produits, et des périodicités qui soient des multiples de la périodicité de base pour d'autres catégories. Présentons les étapes successives de cette méthode, toujours sur la base du cas Détech.

#### ► Première étape

Le tableau 3.12 résume l'analyse ABC effectuée sur les consommations annuelles en valeur, afin de distinguer les produits phares de l'entreprise de ceux qui le sont moins et qui demandent une attention plus réduite.

#### ► Deuxième étape

Pour toutes les références de la catégorie n° 1, on cherchera le nombre optimal  $n^*$  selon la méthode du regroupement généralisé exposée dans le § 1.2 ;  $n^*$  sera appelé *périodicité de base*. Ici,  $k = 2$  (car la catégorie n° 1 contient A et B). Ainsi, le coût total de gestion de stock pour la catégorie n° 1 est égal à 4 595 € et  $n^* = 7$ .

Tableau 3.12 : Méthode ABC sur les consommations annuelles en valeur<sup>1</sup>

Catégories	Référence produit	Valeur de la consommation annuelle (en €)	FCC en % sur les références produits	FCC en % sur les consommations annuelles
N° 1	A	60 000	14	41
	B	49 000	29	74
N° 2	C	24 000	43	90
	D	4 500	57	93
	E	3 600	71	95
	F	3 500	86	98
	G	3 200	100	100
Total		147 800		

<sup>1</sup> On constate que les lignes du tableau initial sont déjà classées dans l'ordre décroissant des consommations annuelles en valeur.

### ➤ Troisième étape

Tableau 3.13 : Coût de stockage pour les produits de la catégorie n° 2

Coût de passation variable = 60 Périodicité de base = 7 cdes par an					
Produits	Périodicité optimale (col. 2)	Rapport = 7/(col. 2)	Rapport optimal	Périodicité théorique retenue	Coût
C	7,7	0,91	1	7,00	936 <sup>1</sup>
D	3,4	2,06	2	3,50	405
E	3,0	2,33	2	3,50	366
F	3,0	2,33	2	3,50	367
G	2,8	2,50	3 <sup>2</sup>	2,33	350
					2 424

<sup>1</sup>  $300/7 = 42,86$  arrondis à 43

$(7 \times 60) + (43 \times 0,3 \times 80)/2 = 936$

<sup>2</sup> Choix issu d'une comparaison de coût entre un rapport égal à 2 et un rapport égal à 3.

Pour les produits de la catégorie n° 2, on va rechercher la périodicité optimale en faisant en sorte qu'elle soit un multiple de la périodicité de base. Savoir s'il est plus économique de commander au même rythme ou à un rythme plus lent se juge au cas par cas (cf. tableau 3.13). Dans cette situation, chaque commande de produits de la

catégorie n° 2 ne supporte que la partie variable du coût de passation, dans la mesure où la partie fixe est déjà assurée par les commandes de la catégorie n° 1.

Au total, le coût d'une stratégie de regroupement sélectif se monte à :  $2\,424 + 4\,595 = 7\,019$  €. Un rapide calcul indique que la valeur moyenne immobilisée en stocks s'établit à 11 965 €.

Cette stratégie apparaît encore plus intéressante que les précédentes. Afin de conclure l'analyse des stratégies de regroupement des approvisionnements, présentons un tableau de synthèse des différentes solutions :

	<b>Modèle de base Gestion individualisée</b>	<b>Gestion sous contrainte du fournisseur</b>	<b>Regroupement généralisé</b>	<b>Regroupement sélectif</b>
<b>Coût total de gestion des stocks</b>	10 948 €	11 335 €	7 445 €	7 019 €
<b>Valeur moyenne immobilisée en stock</b>	17 400 €	13 513 €	12 425 €	11 965 €

Le regroupement sélectif est souvent une stratégie financièrement intéressante ; cependant, il est nécessaire de la faire accepter par ses partenaires, souvent réticents du fait d'un accroissement de la complexité des livraisons (la préparation d'une commande devient plus difficile et coûte plus cher).

## 2 Politique de réduction de la valeur moyenne immobilisée en stock

Nous savons que depuis quelques années les entreprises attachent une grande importance à l'objectif de réduction de leurs stocks, notamment afin de limiter les coûts de stockage, les gaspillages et les sommes immobilisées. Ainsi, il est fréquent de voir des directions générales imposer aux services concernés une limitation à la valeur du stock moyen global.

Imaginons que les services financiers de l'entreprise Détech demandent au responsable des approvisionnements de gérer les stocks de façon optimale tout en respectant une valeur moyenne immobilisée maximale de 15 000 euros (au lieu de 17 400 euros dans le modèle de base). Nous présenterons le modèle en considérant que les  $k$  produits sont gérés isolément ; le raisonnement est facilement transposable à une situation où les approvisionnements sont regroupés.

La difficulté principale du modèle réside dans le formalisme mathématique nécessaire à une résolution rigoureuse du problème. En effet, ce dernier consiste à minimiser sous contrainte une fonction de plusieurs variables. L'objectif est donc de résoudre le programme suivant :

$$\text{Min} \sum_{i=1}^k \text{CT}(q_i) = C_l \sum_{i=1}^k \frac{D_i}{q_i} + \sum_{i=1}^k \frac{q_i}{2} P_i t$$

sous la contrainte :

$$\sum_{i=1}^k \frac{q_i}{2} P_i = \text{VMI}$$

avec VMI = Valeur moyenne immobilisée souhaitée.

Pour une fonction sous contrainte, le mode de résolution mathématique le plus classique consiste à écrire le lagrangien, puis à lui appliquer les conditions de 1<sup>er</sup> ordre (on négligera volontairement les conditions de second ordre, renvoyant à des vérifications bien trop complexes) :

$$L(q_1, q_2, \dots, \lambda) = \sum_{i=1}^k \text{CT}(q_i) + \lambda \left( \sum_{i=1}^k \frac{q_i}{2} P_i - \text{VMI} \right)$$

Les conditions du 1<sup>er</sup> ordre sont donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial q_1} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial L}{\partial q_k} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} -\frac{C_l D_1}{q_1^2} + \frac{P_1 t}{2} + \frac{\lambda P_1}{2} = 0 \\ \dots \\ -\frac{C_l D_k}{q_k^2} + \frac{P_k t}{2} + \frac{\lambda P_k}{2} = 0 \\ \sum_{i=1}^k \frac{q_i}{2} P_i = \text{VMI} \end{array} \right.$$

Il s'agit d'un système de  $k + 1$  équations où les  $k$  premières ont la même forme et permettent d'obtenir les  $k$  valeurs optimales, notées  $q_i^*$  :

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2C_l D_i}{(t + \lambda)P_i}}$$

Dans la dernière équation du système, en remplaçant  $q_i$  par la valeur précédente, on pourra obtenir la valeur du multiplicateur de Lagrange :

$$\sum_{i=1}^k \frac{\sqrt{\frac{2C_l D_i}{(t + \lambda)P_i}} P_i}{2} = \text{VMI}$$

En effet, après de multiples simplifications, il est possible d'isoler la valeur du multiplicateur<sup>1</sup> :

$$\lambda = \frac{1}{2} C_1 \left( \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{D_i P_i}}{VMI} \right)^2 - t$$

Une fois que l'on a calculé la valeur numérique de  $\lambda$ , il suffit de la reporter dans  $q_i^*$  pour obtenir la valeur optimale associée à chaque produit. Mais on peut aussi, une fois pour toutes, exprimer la quantité optimale  $q_i^*$  en intégrant la valeur théorique de  $\lambda$  directement (c'est-à-dire en remplaçant  $\lambda$  par la valeur ci-dessus dans  $q_i^*$ ).

À l'issue d'une longue série de simplifications, le résultat peut être présenté sous une forme « agréable » et qui facilite les calculs ultérieurs :

$$q_i^* = 2W \sqrt{\frac{D_i}{P_i}}$$

en posant :  $W = \frac{VMI}{\sum_{i=1}^k \sqrt{P_i D_i}}$

Le tableau 3.14 illustre le cas de l'entreprise Détech lorsque la valeur moyenne immobilisée en stock est fixée à 15 000 €.

Tableau 3.14 : Gestion des stocks et contrainte financière

Référence produit	Quantité optimale	Périodicité optimale	Périodicité réelle	Coût total	Valeur moyenne du stock
A	56,70	7,05	7	3 106	4 286
B	54,90	6,38	6	2 785	4 083
C	67,24	4,46	5 <sup>1</sup>	2 020	2 400
D	46,58	1,93	2	858	1 125
E	52,08	1,73	2	790	900
F	29,34	1,70	2	783	875
G	49,10	1,63	2	760	800
				<b>11 102</b>	<b>14 469</b>

<sup>1</sup> Il faut choisir des valeurs qui respectent la contrainte, même si c'est au détriment d'une légère hausse du coût total.

1. À titre d'entraînement, il est conseillé de vérifier le résultat, en étant toutefois attentif à la proposition suivante :  $\sum \sqrt{a_i} \neq \sqrt{\sum a_i}$

Sachant que :

- Calcul intermédiaire :  $\sum (P_i D_i)^{1/2} = 864$
- Calcul de multiplicateur de Lagrange :  $\lambda = 0,131\ 348$
- Calcul de la valeur W :  $W = 17,360\ 3$

Ainsi, on constate que :

- l'investissement financier en stock est bien d'environ 15 000 € (à quelques dizaines près suivant les arrondis retenus dans les calculs) ;
- le coût total de gestion du stock est évalué à environ : 11 102 €.

Le supplément de coût de 162 € par rapport au modèle de base (10 940 €) correspond aux frais financiers liés à la contrainte définissant l'immobilisation moyenne maximale en stock. Plus la contrainte est forte, plus les quantités optimales diminuent et plus le nombre de commandes augmente.

Nous pouvons remarquer que la quantité optimale sous contraintes n'incorpore plus dans son calcul les coûts de possession et de passation, qui « semblent » avoir disparu. Pourtant, il ne faut pas oublier le raisonnement mathématique sous-jacent qui a permis d'obtenir cette quantité optimale et qui consiste à minimiser le coût total de stockage.

### 3 Intégration des limites physiques de stockage au modèle de base

Le capital financier n'est pas l'unique ressource que l'entreprise souhaite gérer avec la plus grande rigueur dans le cadre d'une stratégie de stockage. Les capacités physiques de stockage ne doivent pas être négligées car elles constituent une donnée incontournable pour toute politique de stockage et d'approvisionnement. Il peut s'agir du volume maximal que les réfrigérateurs peuvent accueillir, du nombre de palettes qu'un entrepôt peut recevoir, de la surface totale disponible, etc.

#### **REPÈRES :** Boom des portables et capacités de stockage insuffisantes

Dès 1998, la très forte expansion du marché des téléphones mobiles conduit Alcatel<sup>1</sup> à moderniser son principal magasin de stockage afin d'optimiser les 20 000 m<sup>2</sup> dont elle dispose sur son site de Laval. En effet, confrontée à des critères stricts de confidentialité, liés à l'intense climat de concurrence, Alcatel a préféré éviter l'externalisation des

1. En 1999, Alcatel était le 5<sup>e</sup> fournisseur mondial de GSM avec environ 11 millions de portables vendus et le 3<sup>e</sup> sur le plan européen (13,4 % de part de marché).

fonctions de stockage et de packaging concernant les téléphones portables, produits à forte valeur ajoutée.

L'entreprise spécialisée Egemin (Électricité générale pour la manutention et l'industrie) est choisie pour automatiser le stockage et porter la capacité d'absorption de la production de 40 000 GSM/jour à environ 100 000 GSM/jour. Pour accroître les capacités de stockage sans réduire aucune autre fonction, Egemin a réalisé successivement deux magasins de stockage surélevés, l'un de 200 mètres, l'autre de 60, tous deux équipés de 2 transstockeurs automatisés, capables d'effectuer chacun 800 mouvements à l'heure.

Le schéma simplifié des flux<sup>1</sup> est présenté dans la figure 3.9. À la sortie de la chaîne d'assemblage (ou en provenance d'un autre site de production d'Alcatel), les téléphones sont regroupés par 30 dans des bacs qu'un convoyeur autoguidé récupère et achemine vers le magasin de stockage surélevé, où les bacs sont alors répartis par un trans-stockeurs dans les rayonnages à une « adresse » libre, déterminée grâce à un logiciel.

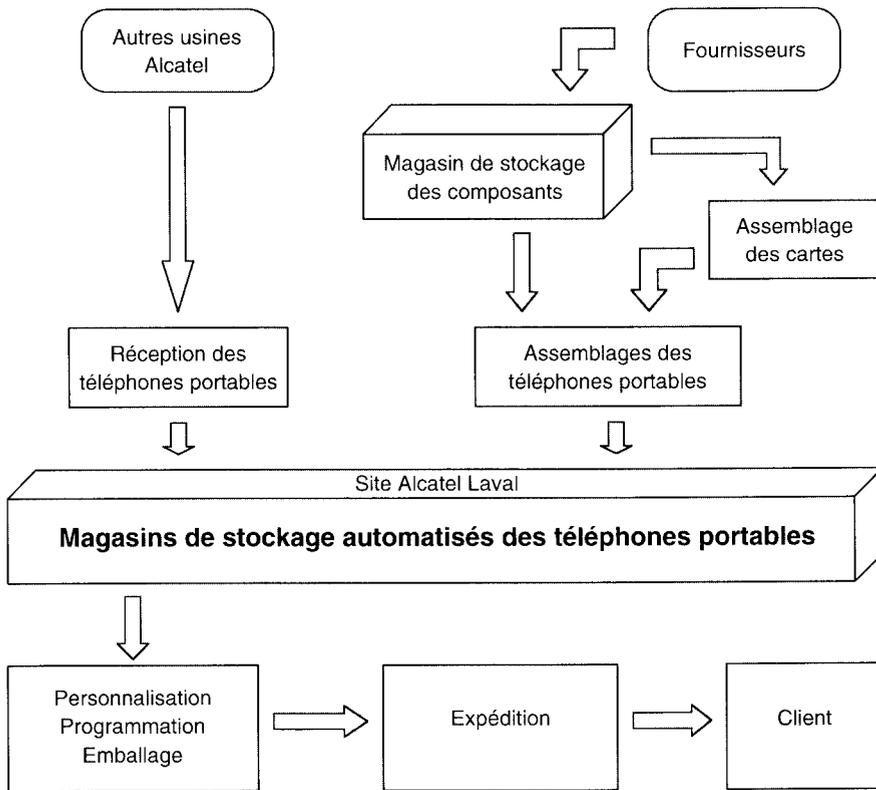


Figure 3.9 : Modernisation du stock central d'Alcatel à Laval

1. Il s'agit d'un document Alcatel, présenté dans *Logistiques Magazine*, n° 152, nov. 2000.

Selon les besoins des « clients », c'est-à-dire des services commerciaux, le système central indique les ordres de sortie du stock : les bacs seront alors dirigés à l'aide des transstockeurs et des convoyeurs vers les 22 lignes de préparation de l'atelier de personnalisation, de programmation et d'emballage. Sur ce type de produit, il est en effet important que la différenciation intervienne le plus tard possible (notion de différenciation retardée).

Revenons maintenant à l'étude de cas Détech et supposons que la surface (en m<sup>2</sup>) des entrepôts de l'entreprise Détech soit égale à une valeur  $S$ . Cette dernière fixera logiquement une limite à la politique de gestion des stocks. Connaissant la surface au sol des différents produits (en m<sup>2</sup>, notée  $s_i$ ), on peut imaginer une modélisation, proche de celle où la contrainte s'exerçait sur la valeur moyenne immobilisée en stock. Dans ce cas, il existe plusieurs façons de traiter le problème :

- Soit on considère encore qu'il est préférable de travailler sur le stock moyen ; dans ce cas, on pose alors la contrainte suivante :

$$\sum_{i=1}^k \frac{q_i}{2} s_i = S$$

- Mais si raisonner sur le stock moyen lorsque l'on souhaite évaluer un coût est possible, en revanche, c'est parfois risqué lorsqu'il s'agit d'un approvisionnement physique, car c'est la totalité de  $q$  qui est livrée et non le stock moyen. La valorisation précédente ne prend pas en considération la place maximale nécessaire dont il faut disposer si l'on fait l'hypothèse que de nombreuses commandes sont livrées en même temps et sont susceptibles de saturer l'entrepôt. D'où la seconde méthode.
- Soit on considère la valeur des approvisionnements pondérée par une constante que le responsable choisira en fonction de son expérience et du nombre de produits concernés. La prudence extrême voudrait même que ce coefficient soit

égal à 1. On posera donc : 
$$\sum_{i=1}^k \alpha q_i s_i = S \quad \text{avec : } 0 < \alpha \leq 1$$

Nous nous placerons dans le second cas et présenterons le modèle permettant de minimiser le coût total de gestion des stocks sous contrainte d'une surface  $S$  donnée. Nous poserons donc :

Minimiser 
$$\sum_{i=1}^k CT(q_i) = C_L \sum_{i=1}^k \frac{D_i}{q_i} + \sum_{i=1}^k \frac{q_i}{2} P_i t$$

sous la contrainte : 
$$\alpha \sum_{i=1}^k q_i s_i = S$$

On forme alors le lagrangien :

$$L(q_1, q_2, \dots, q_k, \lambda) = \sum_{i=1}^k CT(q_i) + \lambda \left( \alpha \sum_{i=1}^k q_i s_i - S \right)$$

Les conditions du 1<sup>er</sup> ordre sont donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0 \Leftrightarrow \left[ -C_L \frac{D_i}{q_i^2} \right] + \left[ \frac{P_i}{2} t \right] + [\lambda \alpha s_i] = 0 \quad \text{pour } i = \{1, 2, \dots, k\} \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \Leftrightarrow \alpha \sum_{i=1}^k q_i s_i = S \end{array} \right.$$

Il s'agit d'un système de  $k + 1$  équations où les  $k$  premières ont la même forme et permettent d'obtenir les  $k$  valeurs optimales, notées  $q_i^*$  :

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2C_L D_i}{tP_i + 2\lambda \alpha s_i}}$$

En remplaçant  $q_i$  dans la contrainte par la valeur ci-dessus, on va pouvoir obtenir la valeur du multiplicateur de Lagrange :

$$\alpha \sum_{i=1}^k s_i \sqrt{\frac{2C_L D_i}{tP_i + 2\lambda \alpha s_i}} = S$$

Contrairement au cas précédent où il était possible d'extraire  $\lambda$ , ici on ne peut pas exprimer explicitement le multiplicateur de Lagrange en fonction des autres paramètres. Il est donc nécessaire de l'obtenir par *tâtonnements successifs* ; l'utilisation d'un tableur facilite considérablement les calculs. Une fois la valeur  $\lambda$  obtenue, on la reporte dans la formule de  $q_i^*$  afin de trouver toutes les valeurs optimales.

Revenons à l'entreprise Détech. Attendant à ses locaux commerciaux, elle possède un entrepôt de 800 m<sup>2</sup> où deux niveaux d'étagères assurent une surface totale de stockage de  $2 \times 625 \text{ m}^2 = 1\,250 \text{ m}^2$ , la différence correspondant aux allées entre les rayonnages. Or, certaines réglementations ainsi que les habitudes prises par la clientèle, l'empêchent d'envisager un déménagement dans des locaux commerciaux plus spacieux, que sa croissance actuelle rend pourtant nécessaire. De plus, face aux forts mouvements de réduction des stocks entrepris par ses concurrents, elle envisage d'utiliser 60 % de la surface de son entrepôt pour aménager des bureaux et un hall d'exposition. La surface occupée par chaque produit est la suivante :

	A	B	C	D	E	F	G
Surface en m <sup>2</sup>	5	4	2	1	1	2	1

Déterminons quelle est la nouvelle stratégie de stockage, face à une stratégie classique où les stocks étaient optimisés séparément.

Pour le nouvel entrepôt de taille plus réduite (40 % de 800 = 320 m<sup>2</sup>), on fera l'hypothèse que l'entreprise conserve le même rapport entre la surface de stockage au sol et celle consacrée aux allées permettant de se déplacer :

- ce rapport était de :  $625/800 = 0,781\ 25$  ;
- la nouvelle surface de stockage au sol est donc de  $320 \times 0,781\ 25 = 250\ \text{m}^2$ ,
- la surface totale de stockage en étagères est donc de  $250 \times 2 = 500\ \text{m}^2$ .

Or, les résultats du modèle de base (optimisation séparée) exigent une surface de 787 m<sup>2</sup> : il est donc bien question d'une gestion sous contrainte. Afin de se prémunir correctement contre d'éventuels approvisionnements livrés en même temps, on posera comme hypothèse que Détech considère un coefficient  $\alpha$  de 80 %.

Après avoir tâtonné, on trouve :  $\lambda = 10,691\ 5$ .

La formule permettant d'obtenir la quantité optimale s'écrit donc :

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2 \times 260 \times D_i}{(0,3 \times P_i) + (2 \times 10,69 \times 0,80 \times s_i)}}$$

Les résultats<sup>1</sup> sont présentés dans le tableau 3.15.

Le coût total de gestion passe donc de 10 940 à 12 155 € (+ 1 215 €) lorsque la surface disponible est limitée à 500 m<sup>2</sup>. Comme on pouvait s'en douter, l'augmentation du coût est liée à la croissance du nombre des approvisionnements, rendue indispensable par la réduction des surfaces de stockage et non totalement compensée par une baisse du coût total de possession.

Ainsi, les différentes contraintes qui pèsent sur la gestion des stocks conduisent les responsables des achats, des approvisionnements et des stocks à adapter leur stratégie en fonction de critères financiers, de localisation ou de surface disponible. Certes, les moyens modernes mis à la disposition des entreprises ont considérablement progressé et facilitent le stockage, comme le montre l'illustration Alcatel. L'automatisation couplée à l'informatique et aux télécommunications permet parfois de « contourner » les contraintes. Mais une chose est sûre, les stocks existent encore. Moins lourds, plus modernes, aux taux de rotation plus élevés, ils n'en sont pas moins présents dans l'organisation productive et sont souvent les points de passage obligés dans l'entreprise intégrée et transversale. Leur importance est d'ailleurs d'autant plus grande que

1. Encore une fois, l'usage d'un tableur est nécessaire tant pour arriver au résultat que pour effectuer d'éventuelles *simulations* à partir d'hypothèses différentes. De plus, certains tableurs possèdent une fonction permettant de résoudre des équations sous contraintes, donc d'envisager une minimisation sous contrainte. C'est par exemple le cas de la fonction SOLVE du tableur Excel de Microsoft, qui permet d'obtenir très facilement des résultats de bonne qualité, très proches de ceux fournis par la version mathématique.

Tableau 3.15 : Gestion des stocks et contrainte physique de stockage

Référence produit	$D_i$	$P_i$	$s_i$ (en m <sup>2</sup> )	Quantité économique	Périodicité optimale arrondie	Coût total	Surface totale utilisée
A	400	150	5	39,92	10	3 500	160
B	350	140	4	40,60	9	3 157	124
C	300	80	2	51,77	6	2 160	80
D	90	50	1	38,18	3	1 005	24
E	90	40	1	40,10	2	760	36
F	50	70	2	21,70	2	783	40
G	80	40	1	37,81	2	760	32
Total						12 155	496

l'environnement des entreprises est changeant, instable et risqué. C'est pourquoi l'étude de la gestion des stocks et des approvisionnements doit prendre en compte cet aspect ; ce sera l'objet de la dernière section de ce chapitre.

Section

**4**

## LA GESTION DES STOCKS EN AVENIR RISQUÉ

Jusqu'à présent, nous avons étudié des modèles en avenir certain, c'est-à-dire des situations où la demande et le délai de réapprovisionnement sont connus à l'avance par l'entreprise. Du fait même de l'impossibilité de l'existence d'une rupture de stock, cela rendait inutile la constitution d'un stock de sécurité. Dans la réalité, la demande est souvent aléatoire<sup>1</sup> ce qui conduit à introduire dans le raisonnement un *stock de sécurité* afin de se prémunir contre les ruptures de stock. Selon la formule de R.J. Schonberger et E.M. Knod<sup>2</sup>, le stock de sécurité serait comparable à l'assurance automobile : on espère ne jamais en avoir besoin mais on ne peut pas s'en passer !

Lorsque la demande n'est pas connue avec certitude, le concept clé de la gestion des stocks se nomme *niveau de service* (appelé aussi taux de service ou *fill rate*). Plusieurs définitions sont acceptées et notamment :

1. Il s'agit en effet de caractériser la demande grâce à des *lois de probabilité*, donc grâce à l'usage de variables aléatoires. C'est pourquoi la maîtrise de quelques notions élémentaires de statistiques et de probabilités facilitera la compréhension de cette section.
2. *Operations Management*, Irwin McGraw-Hill, 1997.

- définition 1 – Le niveau de service correspond au pourcentage de cycles de commande pour lequel la demande est satisfaite ; il s'agit donc du nombre de périodes de réapprovisionnement sans ruptures, divisé par le nombre total de périodes de réapprovisionnement. Dans ce cas, on ne se préoccupe pas du niveau de la rupture car peu importe qu'elle soit forte ou faible, seul compte le fait qu'elle ait eu lieu. Le complémentaire à 100 % du niveau de service est appelé *risque de rupture de stock* ;
- définition 2 – Le niveau de service est égal au pourcentage indiquant le nombre des produits livrés par rapport à ceux qui étaient commandés ; dans ce cas, le volume de la rupture est pris en considération.

La détermination du niveau de service dépend généralement de deux facteurs :

- la nature du produit : normalement, plus le produit joue un rôle essentiel dans l'activité de l'entreprise, plus le niveau de service devra être élevé<sup>1</sup> ;
- la variabilité de la demande : plus elle est forte, plus les exigences seront importantes afin de se prémunir contre une rupture.

## **REPÈRES : Calcul d'un niveau de service global au CNL-PR d'Estrées-Saint-Denis (Ford France)** (suite du Repères de la page 137)

Le *niveau de service* est calculé chaque semaine et le tableau de synthèse est adressé à la direction générale, ainsi qu'à un certain nombre de cadres supérieurs. C'est un indicateur important. Il se situe à environ 98 %. Il est calculé sur la base *des lignes de commande*, et non à partir des quantités, ou des commandes.

Voici 4 commandes simplifiées et fictives adressées à la plate-forme la même semaine par des concessionnaires Ford différents. Lorsque le stock ne permet pas de fournir la totalité de ce qui est demandé, la valeur livrée est indiquée entre parenthèses.

Le niveau de service (NS) peut être calculé de trois façons différentes :

- 1 - Par rapport aux quantités : le NS est égal au rapport entre le total des quantités servies et le total des quantités demandées :

$$NS_{Qté} = 331/386 = 85,75 \%$$

- 2 - Par rapport aux lignes de commande : le NS s'obtient alors en divisant le nombre de lignes de commande servies complètes<sup>2</sup> par le nombre total de lignes de commande :

$$NS_{LC} = 17/21 = 81 \%$$

- 
1. Malgré tout, pour des produits essentiels, une stratégie opposée peut consister à ne stocker que de faibles quantités, et à *accroître la fréquence* des approvisionnements. Taux de rotation des stocks et niveau de service ne varient pas forcément dans un sens opposé.
  2. Pour qu'une commande soit considérée comme « servie non complète », il suffit qu'une seule unité d'une seule référence de cette commande soit manquante.

Cde n° 1		Cde n° 2		Cde n° 3		Cde n° 4	
Réf.	Qté	Réf.	Qté	Réf.	Qté	Réf.	Qté
Aile G1	3	Essieu F5	10	Durite L	30	Roue T6	10
Essieu X4	6	Spoiler A	5	Câble C3	30	Aile G3	10 (0)
Durite K	15	Roue T6	50	Hayon Y	5	Essieu X6	5
Câble CE	50 (30)	Aile G1	20			Capot KL	15 (5)
Hayon T	6	Essieu X4	5			Durite K	35 (20)
		Silencieux	18			Câble CX	50
						Hayon J	8

3 - Par rapport aux commandes : le NS correspond au ratio : nombre de commandes servies complètes sur nombre total de commandes :

$$NS_{Cde} = 2/4 = 50 \%$$

Un niveau de service fondé sur les quantités pourrait surévaluer les performances, alors qu'un niveau de service basé sur les commandes pourrait conduire à des résultats particulièrement médiocres, ne reflétant pas la réalité et les efforts entrepris dans la gestion des stocks. Ainsi, par exemple, le fait d'avoir simplement 25 durites L pour la commande n° 3, au lieu des 30 demandées, conduit à :

- une très légère baisse du  $NS_{Qté}$  : 84,45 % (au lieu de 85,75 %),
- une baisse moyenne du  $NS_{LC}$  : 76,2 % (au lieu de 81 %),
- une baisse considérable du  $NS_{Cde}$  : 25 % (au lieu de 50 %).

Se baser sur les lignes de commande semble un compromis tout à fait intéressant pour ce type d'activité. C'est le mode de calcul retenu par la direction du centre logistique.

Dès que l'on se place en univers aléatoire, les modèles peuvent vite devenir particulièrement complexes et lourds à exposer. Vouloir être exhaustif nécessiterait un ouvrage entier. De plus, l'expérience montre qu'assez peu d'entreprises utilisent les modèles les plus sophistiqués. C'est pourquoi nous nous bornerons à présenter des concepts et des techniques relativement simples, dont la mise en œuvre est aisée et dont l'usage est fréquent dans les entreprises. Nous aborderons d'abord l'étude des systèmes de gestion de stock à point de commande [1] puis des modèles calendaires [2].

## 1 Systèmes à point de commande

Que l'environnement soit parfaitement maîtrisé ou aléatoire, le principe d'un système de gestion de stock à point de commande (ou à stock d'alerte) reste le même : passer une commande lorsque le stock à atteint un certain niveau. Le caractère aléatoire peut se manifester de différentes façons :

- seule la demande est risquée ;
- la demande et le délai de livraison sont risqués ;
- seul le délai de livraison est risqué.

Nous n'aborderons que les deux premières situations dans la mesure où le dernier cas ne présente pas de difficulté et de grande différence par rapport au premier.

### 1.1 La demande est aléatoire et le délai de livraison est certain

Nous ferons l'hypothèse simplificatrice que seule la demande est risquée, le délai de livraison sera considéré comme certain. Bien que facilitant le raisonnement, cette hypothèse n'en est pas moins proche de la réalité : les entreprises maîtrisent beaucoup mieux leurs fournisseurs que leurs clients !

#### ► Exemple introductif

À l'aide d'informations fournies par la comptabilité, l'entreprise Qualytex élabore la statistique de la *demande mensuelle* d'un de ses produits, le Xyghol, dont *le délai d'approvisionnement constant est d'un mois*. Son prix unitaire est de 75 € ; les coûts de possession et de passation sont respectivement de 18 % et 240 €. La demande mensuelle au cours des six dernières années est indiquée dans le tableau 3.16.

La série des FCD fournit la demande maximale associée à un niveau de service donné, c'est-à-dire pour un risque de rupture donné. En effet, par une lecture directe du tableau, on sait par exemple que la demande mensuelle n'a été supérieure ou égale à 60 composants que dans 18,1 % des cas. Donc, si on souhaite un niveau de service de 82 %, la demande maximale sera de 60 unités. En ayant en stock 60 composants, on a en moyenne 18 % de chance d'être en rupture de stock et 82 % de ne pas l'être.

Bien souvent, on a constaté que le niveau de service exigé dans les entreprises était au moins de 90 %. La figure 3.10 permet facilement de déterminer la demande maximale pour un risque de rupture de 10 % ; elle est d'environ 67 composants. On peut confirmer et affiner ce résultat grâce à une interpolation linéaire :

$$D_{\max}(90\%) = 60 + [70 - 60] \times \frac{10\% - 18,1\%}{6,9\% - 18,1\%} = 67,20 \approx 67$$

Rappelons qu'en moyenne, la demande mensuelle est de 45 composants ; le stock de sécurité pour un taux de service de 90 % s'établit donc à 22 composants. Fort

Tableau 3.16 : Distribution de la demande de Xyghol

Demande mensuelle de Xyghol	Fréquences d'apparition de la demande	Fréquences cumulées décroissantes (FCD)	FCD en %
[ 0 – 10 [	1	72	100
[ 10 – 20 [	4	71	98,6
[ 20 – 30 [	8	67 <sup>1</sup>	93,1
[ 30 – 40 [	13	59	81,9
[ 40 – 50 [	20	46	63,9
[ 50 – 60 [	13	26	36,1
[ 60 – 70 [	8	13	18,1
[ 70 – 80 [	4	5	6,9
[ 80 – 90 [	1	1	1,4
Total	72		

<sup>1</sup> Lorsque FCD = 67, cela signifie que la quantité demandée fut égale ou a dépassé 20 composants (borne inférieure de la classe) 67 fois, c'est-à-dire 67 mois sur les six années considérées.

Remarque : notamment afin de faciliter la suite de l'illustration, mais aussi pour rendre évident le calcul de la moyenne, nous avons choisi une série statistique parfaitement symétrique ; la moyenne est donc égale à 45 composants. Elle est aussi égale à la médiane et au mode.

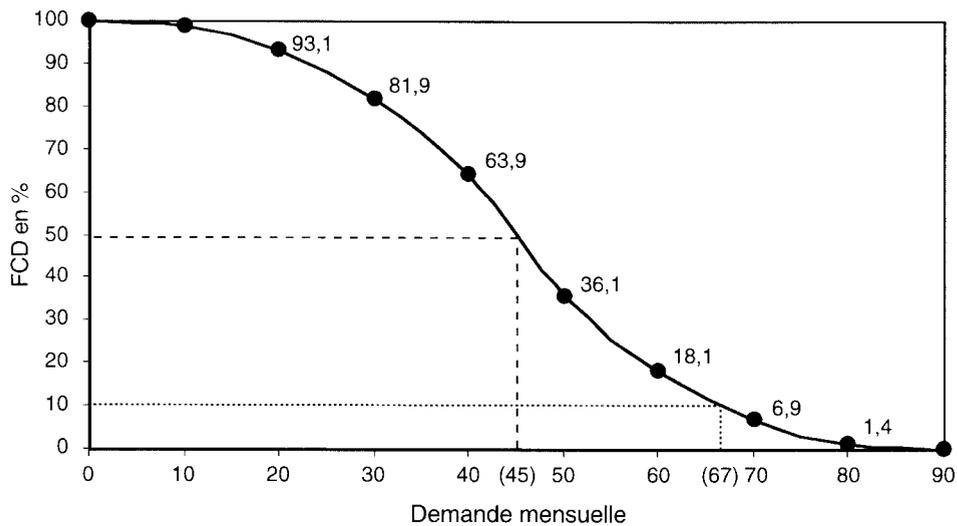


Figure 3.10 : Fréquences cumulées décroissantes de la demande

logiquement, *le stock de sécurité est une fonction croissante du niveau de service exigé*. On peut aussi remarquer la non proportionnalité de cette croissance.

Niveau de service et stock de sécurité :

Niveau de service		80 %	90 %	95 %	99 %
À l'aide de la distribution statistique	Demande maxi	59	67	73	83
	Stock de sécurité	14	22	28	38

Lorsque la distribution de la demande s'y prête<sup>1</sup>, il est possible d'utiliser la loi normale pour procéder à la détermination du stock de sécurité. Le coefficient  $t$  correspond à la valeur lue dans la table de la loi normale centrée réduite<sup>2</sup> pour une probabilité  $p$ . L'écart-type de la demande est égal à 16,4.

Niveau de service		80 %	90 %	95 %	99 %
À l'aide de la loi normale	Coefficient $t$ lu sur $N(0,1)$	0,84	1,28	1,65	2,33
	Stock de sécurité	$16,4 \times 0,84$ = 14	$16,4 \times 1,28$ = 21	$16,4 \times 1,65$ = 27	$16,4 \times 2,33$ = 38

Notons que les résultats figurant dans ce dernier tableau sont très proches de ceux obtenus sur la base des valeurs discrètes.

Par exemple, pour un niveau de service de 95 %, cherchons  $D_M$  pour que la probabilité que la demande mensuelle lui soit inférieure soit égale à 95 %. On cherche donc bien une valeur de stock qui ne permette d'être en rupture qu'avec une probabilité de 5 % :

$$D \rightarrow N (m = 45 ; \sigma = 16,4)$$

$$p(D \leq D_M) = 95 \%$$

$$T = \frac{D - m}{\sigma} \rightarrow N (0 ; 1)$$

Utilisons la loi normale centrée réduite. On a donc :

1. La distribution doit être unimodale et symétrique par rapport à la moyenne. L'observation attentive de l'histogramme des fréquences fournit déjà un indice correct de normalité. Si on peut montrer que la moyenne, le mode et la médiane sont égaux (ou très proches), alors la distribution pourra être considérée comme normale.
2. Aujourd'hui, les tableurs offrent aussi la possibilité de calculer la valeur de  $t$  pour une probabilité donnée. Par exemple, à l'aide du tableur Excel, en écrivant dans une cellule « =LOI.NORMALE.INVERSE(0,95 ;0 ;1) », on obtiendra  $t = 1,65$ .

$$\Leftrightarrow p\left(T \leq \frac{D_M - m}{\sigma}\right) \Leftrightarrow 95 \% \Leftrightarrow \frac{D_M - m}{\sigma} = 1,65$$

$$\rightarrow D_M = 45 + (1,65 \times 16,4) = 72,06 \approx 72$$

Le stock de sécurité se détermine donc bien en multipliant l'écart type par le coefficient  $t$  associé à un niveau de service donné (ici 95 %). Ce que nous avons appelé  $D_M$  n'est rien d'autre que le *point de commande* ou le stock d'alerte. L'entreprise Qualytex déclenchera une commande lorsque le stock sera égal à 72 unités.

### ► Résolution du problème dans le cas général

L'illustration précédente, bien qu'instructive et traduisant les principales préoccupations des décisionnaires n'en est pas moins un *cas particulier* ; en effet, nous avons posé comme hypothèse que le délai d'approvisionnement (d'un mois) était égal à la périodicité de la demande (mensuelle). Cette spécificité masque notamment le fait que les paramètres de la loi suivie par la demande pendant le délai d'approvisionnement sont généralement différents de ceux de la loi suivie par la demande, parce que les durées considérées sont différentes.

Selon Giard (1988), une *solution approchée*<sup>1</sup> pour un problème de gestion des stocks où la demande est aléatoire et le délai de livraison certain s'effectue successivement en deux étapes indépendantes :

- à l'aide du modèle de Wilson, donc sur le même principe qu'en univers certain, on détermine dans un premier temps la *quantité économique*  $q^*$  qui minimise le coût de gestion de stock, composé du coût de possession  $C_p$  et du coût de passation  $C_L$  ;
- puis on calcule le *stock d'alerte*  $STA$  qui minimise un second coût de gestion de stock, cette fois-ci, somme d'un coût de possession  $C_{2p}$  et d'un coût de rupture  $C_R$ .

La seconde partie de cette solution approchée fournit une réponse qui a le mérite d'être *optimale*, mais qui ne répond pas toujours aux impératifs commerciaux fixant un niveau de service élevé et traduisant une « orientation client » marquée. En effet, la valeur du  $STA$  qui minimise le second coût de gestion dépend du ratio<sup>2</sup> :  $C_{2p}/(0,5C_{2p} + C_R)$ . Rien n'assure que la valeur obtenue grâce à cette formule (assimilée au risque de rupture de stock) soit faible, et donc que le niveau de service soit élevé. C'est pourquoi notre préférence s'oriente vers la détermination d'un stock d'alerte qui serait fonction d'un niveau de service *donné*. Ce dernier, défini par les responsables de l'entreprise, tiendrait compte du secteur, de la nature du produit, de la force de la concurrence, etc.

1. Cette solution ne sera valable que si le stock d'alerte est inférieur à la quantité économique, c'est-à-dire si le système est à point de commande unique.

2. La méthode permettant d'obtenir ce ratio est assez complexe et suppose des développements qui dépassent le cadre de cet ouvrage ; nous renvoyons le lecteur intéressé par des approfondissements à la démonstration de V. Giard (1988).

Reprenons l'illustration précédente en considérant que la demande mensuelle notée  $D$  suit effectivement une loi normale :

- de moyenne  $m_D = 45$ ,
- et d'écart type  $\sigma_D = 16,4$ .

Cette fois, *le délai de livraison est de 10 jours.*

• *Calcul de la quantité économique*

On considère l'espérance de la demande, au lieu de prendre la demande certaine :

$$q^* = \sqrt{\frac{2 \times 240 \times 45}{75 \times 18 \%}} = 40$$

• *Calcul du stock d'alerte en fonction d'un niveau de service imposé*

La loi de probabilité de la demande *pendant ces 10 jours* (notée  $DL$ ) se déduit de la loi de la demande mensuelle précédente. Déterminons la moyenne, la variance et l'écart type de la demande pendant le délai d'approvisionnement :

$$m_{DL} = \frac{10}{30} \times m_D = \frac{10}{30} \times 45 = 15$$

$$\sigma_{DL}^2 = \frac{10}{30} \times \sigma_D^2 = \frac{10}{30} \times 16,4^2 \approx 89,65$$

$$\sigma_{DL} = \sqrt{\frac{10}{30}} \times \sigma_D = \sqrt{\frac{10}{30}} \times 16,4 \approx 9,5$$

Attention, il faut éviter de tomber dans un piège statistique classique. Il ne s'agit pas ici de multiplier une variable aléatoire par une constante  $k$ , mais de faire la somme de  $k$  variables aléatoires indépendantes qui suivent la même loi.

Il ne faut donc pas confondre deux situations :

si  $Z = kX$

alors  $E(Z) = kE(X)$  et  $\text{Var}(Z) = k^2\text{Var}(X)$  ou  $\sigma(Z) = k\sigma(X)$

et si  $Z = X_1 + X_1 + \dots + X_1$  ( $X_1$  répétée  $k$  fois)

alors  $E(Z) = kE(X_1)$  et  $\text{Var}(Z) = k\text{Var}(X_1)$  ou  $\sigma(Z) = \sqrt{k}\sigma(X_1)$

Ainsi, la moyenne (respectivement la variance) de la demande pendant le délai de livraison est *proportionnelle* à la moyenne (respectivement à la variance) de la demande mensuelle. C'est un résultat important.

Cherchons le niveau du *stock d'alerte* et du stock de sécurité pour que la probabilité de rupture de stock soit de  $\alpha$ , ou autrement dit que le niveau de service soit de  $1 - \alpha$  :

$$p(D > m_{DL} + STS) = \alpha \Leftrightarrow p(D \leq m_{DL} + STS) = 1 - \alpha$$

$$p\left(T \leq \frac{m_{DL} + STS - m_{DL}}{\sigma_{DL}}\right) = 1 - \alpha$$

Finalement, cela donne :

$$\Leftrightarrow p\left(T \leq \frac{STS}{\sigma_{DL}}\right) = 1 - \alpha \rightarrow \frac{STS}{\sigma_{DL}} = t_{(1-\alpha)} \Leftrightarrow STS = \sigma_{DL} \cdot t_{(1-\alpha)}$$

- où  $t_{(1-\alpha)}$  est lu dans la table de la loi normale centrée réduite ou obtenu à l'aide d'un tableur ;
- où  $m_{DL}$  est la demande moyenne pendant le délai de livraison ;
- où  $\sigma_{DL}$  est l'écart type de la demande pendant le délai de livraison.

Le *stock d'alerte*, pour un niveau de service donné, correspond simplement à la somme du stock de sécurité et de la demande moyenne pendant le délai d'approvisionnement, c'est-à-dire :

$$STA_{(1-\alpha)} = m_{DL} + [\sigma_{DL} \cdot t_{(1-\alpha)}]$$

Si l'entreprise souhaite connaître le point de commande<sup>1</sup>, tel que la demande soit inférieure à ce niveau ou égale à 95 %, il suffit d'utiliser le résultat général précédent sachant que :

$$\begin{aligned} m_{DL} &= 15 ; & \sigma_{DL} &= 9,5 ; & t_{95\%} &= 1,65 \\ \text{donc} & & STS_{95\%} &= 9,5 \times 1,65 = 15,7 & \text{soit } STS_{95\%} &= 16 \\ \text{et} & & STA_{95\%} &= 15 + STS_{95\%} = 30,7 & \text{soit } STA_{95\%} &= 31 \end{aligned}$$

Rappelons qu'il ne s'agit pas de la valeur qui minimise le coût de gestion, mais de la valeur du stock d'alerte pour laquelle le niveau de service est de 95 %.

En résumé, la politique de gestion du stock de Xyghol mise en œuvre par l'entreprise Qalytex consiste, dès que le stock atteint 31 unités, à passer une commande de 40 unités. Bien que certainement non optimale<sup>2</sup> au sens strict du terme, cette politique devrait normalement permettre à l'entreprise de donner pleinement satisfaction aux clients, et en ce sens, elle peut malgré tout être qualifiée d'optimale.

Il est d'usage d'effectuer une représentation graphique sur laquelle on matérialise la totalité des éléments que nous venons d'étudier, y compris la courbe de la loi normale lorsqu'elle est utilisée (cf. figure 3.11) :

- 
1. Lorsque le raisonnement se situe dans une logique calendaire, il est fréquent d'utiliser le terme « niveau de reapprovisionnement » pour parler du stock d'alerte ou du point de commande.
  2. Le *hasard* peut cependant conduire le ratio formé par les coûts de possession et de rupture (qui conduit à trouver une valeur STA qui minimise le coût total de gestion) à être a peu près égal à 5 %.

- le cas n° 1 correspond à une situation où la consommation pendant le délai de livraison a été supérieure à ce qu'elle est en moyenne : le stock de sécurité a joué son rôle. Dix jours après avoir passé la commande, la livraison de 40 unités vient s'ajouter au stock physique ;
- le cas n° 2 illustre une situation où la consommation pendant le délai de livraison a été inférieure à la moyenne : l'entreprise ne puise pas dans son stock de sécurité ;
- enfin, le cas n° 3 traduit l'insuffisance du stock de sécurité pour faire face à *toutes*<sup>1</sup> les situations. Normalement, ce cas ne devrait se produire que très rarement, puisque le risque de rupture est de 5 %.

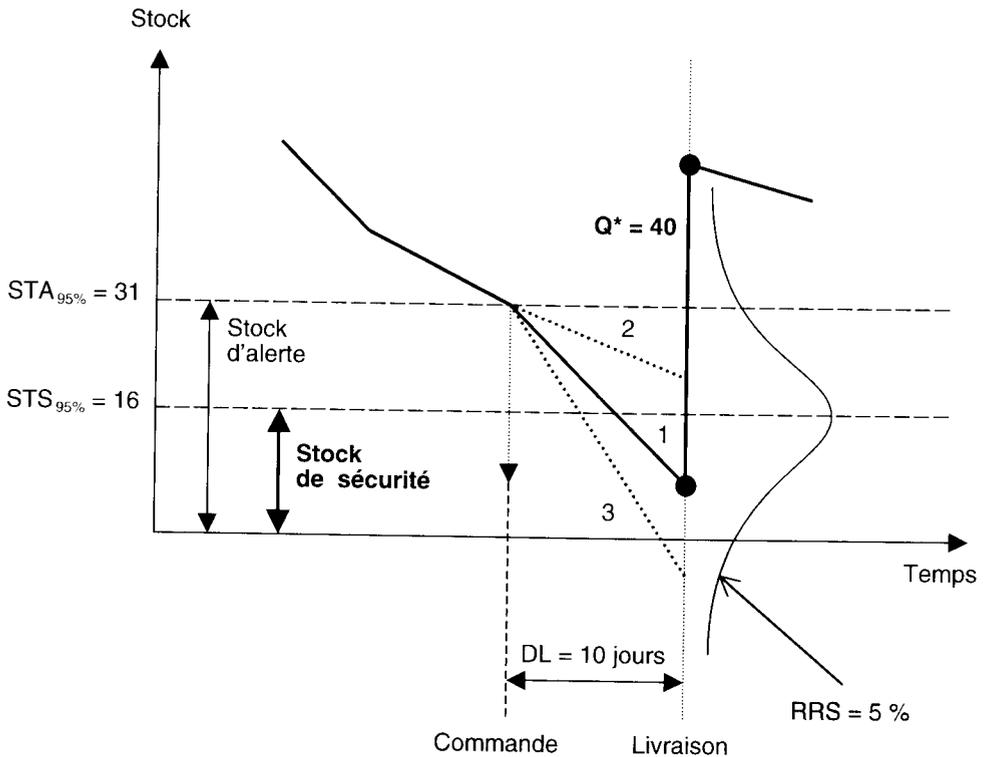


Figure 3.11 : Système à point de commande – Demande aléatoire

1. Faire face à *toutes* les situations est statistiquement impossible. Si l'entreprise décidait d'un niveau de service de 99,99 %, le stock de sécurité devrait être de  $3,72 \times 9,5 = 36$  unités.

## 1.2 Cas où la demande et le délai de livraison sont aléatoires

Dans cette situation *doublement aléatoire*, l'optimisation de la gestion des stocks utilise parfois de « belles formules » issues de la théorie des probabilités<sup>1</sup> ; mais bien des professionnels considèrent que la meilleure méthode reste encore la technique de la *simulation*. Concrètement, cette dernière ne peut être correctement réalisée dans l'entreprise qu'à l'aide de logiciels ou plus généralement de moyens informatiques, car elle n'apporte une aide à la décision que si le nombre d'observations simulées est élevé.

Dans le but d'en faciliter la compréhension et d'en simplifier la présentation, nous étudierons les rudiments de cette technique à partir d'une application chiffrée.

### ► Application chiffrée

En France, un grossiste vend un composant électronique au prix de 3 000 € à de nombreuses entreprises (par hypothèse, indépendantes). Afin d'améliorer la gestion du stock de ce composant, le grossiste a relevé la demande hebdomadaire des 100 dernières semaines, présentée dans le tableau suivant. Il estime par ailleurs que le coût de possession hebdomadaire unitaire s'élève à 15 € et que le coût de passation d'une commande est de 140 €. Le coût d'un invendu est d'environ 200 € ; en effet, les entreprises clientes qui ne trouvent pas le composant vont immédiatement l'acheter chez un autre grossiste.

Distribution de la demande :

<b>Demande hebdomadaire</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Effectif</b>	2	5	8	20	30	20	8	5	2

Le grossiste français s'approvisionne chez un fournisseur de taille européenne basé près de Turin (Italie). L'expérience a montré que le délai de livraison par le fournisseur était variable. D'ailleurs, toujours dans le même esprit d'amélioration, le grossiste a noté le délai d'approvisionnement pour les 100 dernières livraisons. Voici les résultats obtenus :

<b>Délai de livraison (en nombre de semaines)</b>	1	2	3	4	5
<b>Effectif</b>	5	20	50	20	5

1. On pourra trouver un exemple dans *Logistical Management*, de D.J. Bowersox, D.J. Closs, Mc Graw Hill, 1996, pp. 274-275.

On dispose enfin des renseignements suivants :

- chez le grossiste, le stock initial est de 20 composants ;
- les commandes sont passées en fin de semaine ;
- les approvisionnements s'effectuent toujours en début de semaine ;

Le grossiste souhaite minimiser son coût de gestion :

- en optimisant le stock d'alerte ;
- mais tout en conservant son organisation actuelle, qui consiste à reconstituer le stock d'une quantité égale à la somme des demandes des 4 dernières semaines précédant la commande (la semaine de la commande comprise).

► **Détermination « manuelle » des valeurs simulées<sup>1</sup>**

Grâce à différentes techniques, l'objectif consiste à faire comme si nous anticipions les demandes et les délais d'approvisionnement futurs, en vue de calculer un coût global de gestion de stock.

Pour trouver les valeurs simulées, il est possible d'utiliser des tables de nombres au hasard, *en veillant à respecter la distribution des probabilités*. Voici un exemple.

- Soit une ligne quelconque d'une table de nombres au hasard (on aurait aussi bien pu les prendre en colonnes) :

22 719 92 549 10 907 35 994 63 461 83 659 etc.

- Le tableau intermédiaire, dont la construction est indispensable, permettant la création d'un échantillon artificiel de la demande est :

<b>Demande</b>	0	1	2	etc.	7	8
<b>Nb au hasard</b>	00 - 01	02 - 06	07 - 14		93 - 97	98 - 99

- On découpe ensuite la ligne de nombre au hasard en paquets de deux chiffres :  
22 - 71 - 99 - 25 - 49 - 10 - 90 - 73, etc.
- La valeur de la demande simulée s'obtient ensuite, pour chaque nombre de deux chiffres, selon la classe d'appartenance de ce nombre dans le tableau intermédiaire :
  - 22 correspond à une demande de 3 ;
  - 99 correspond à une demande de 8 ;
  - 10 correspond à une demande de 2 ; etc.

1. « Manuelle » car nous considérons que seule la table de nombres au hasard nous est fournie.

### ► Détermination des valeurs simulées à l'aide d'un logiciel

Il existe aujourd'hui des logiciels qui génèrent des séries de nombres au hasard, et certains proposent même de créer ces séries *en fonction d'une loi de probabilité* dont on aura pris soin de préciser les paramètres. Nous utiliserons ce dernier moyen, bien plus rapide que la détermination manuelle (qui nécessite d'ailleurs de disposer d'une table de nombres au hasard).

Par exemple, à l'aide du tableur Excel (Microsoft), il suffit de saisir la formule suivante pour obtenir une réalisation aléatoire dans le cas d'une loi normale, puis de répéter cette formule autant de fois que nécessaire pour construire une table de nombres au hasard :

« = LOI.NORMALE.INVERSE(ALEA( ) ; m ;  $\sigma$ ) »

où m est la moyenne et  $\sigma$  l'écart type.

Or, nous pouvons considérer que les distributions précédentes (demande et délai) sont *normales* puisque toutes les conditions sont réunies pour chacune d'elle.

Admettons donc que les moyennes et écarts types empiriques trouvés sur les distributions nous fournissent les paramètres des deux lois normales ; alors :

- la demande hebdomadaire suit une loi normale de moyenne 4 et d'écart type 1,606 ;
- le délai de livraison<sup>1</sup> suit une loi normale de moyenne 3 et d'écart type 0,894.

À l'aide de ces résultats, nous pouvons générer *deux échantillons aléatoires*, qui nous permettront de mener à bien la simulation :

- pour la demande, on obtient : 2-8-4-5-4-2-4-3-2-4-3-4-6, etc. ;
- pour le délai, on obtient : 3-2-3-2-3-5-4-3-1, etc.

*Remarque* : comme il s'agit de tables générées à partir de paramètres de lois normales, on évitera de prendre des séries de nombres :

- comportant 0 pour le délai d'approvisionnement ;
- comportant des valeurs négatives pour la demande.

### ► Simulations

À l'aide des informations décrivant le fonctionnement du grossiste, nous allons chercher la valeur du point de commande qui permet une minimisation du coût total de gestion du stock de composants. Pour cela, *il faut tester différentes valeurs*. Arbitrairement, nous avons pris 27 nombres au hasard et testé deux valeurs du point de commande.

1. Certains auteurs considèrent qu'appliquer une loi normale sur un délai de livraison n'est pas une bonne idée car « *il n'y aurait pas suffisamment de causes de retard pour expliquer la normalité du phénomène* », selon Y. Pimor, *Logistique, techniques et mise en œuvre*, Paris, Dunod, 1998, p. 136. Nous pensons que seule une réflexion au cas par cas permet de trancher.

L'entreprise décide que le point de commande sera de 8 composants :

Tableau 3.17 : Simulation n° 1 – Point de commande = 8 unités

Semaine	Approv.	Demande	Stock final	Cde	Stock moyen	Coût de possession	Nb ventes manquées
1	20	2	18	-	19,0	285,0	0
2	0	8	10	-	14,0	210,0	0
3	0	4	6	oui	8,0	120,0	0
4	0	5	1	-	3,5	52,5	0
5	0	4	0	-	0,5	7,5	3
6	0	2	0	-	0,0	0,0	2
7	14	4	10	-	12,0	180,0	0
8	0	3	7	oui	8,5	127,5	0
9	0	2	5	-	6,0	90,0	0
10	0	4	1	-	3,0	45,0	0
11	13	3	11	-	12,5	187,5	0
12	0	4	7	oui	9,0	135,0	0
13	0	6	1	-	4,0	60,0	0
14	0	4	0	-	0,5	7,5	3
15	0	2	0	-	0,0	0,0	2
16	13	4	9	-	11,0	165,0	0
17	0	6	3	oui	6,0	90,0	0
18	0	4	0	-	1,5	22,5	1
19	0	4	0	-	0,0	0,0	4
20	16	1	15	-	15,5	232,5	0
21	0	2	13	-	14,0	210,0	0
22	0	4	9	-	11,0	165,0	0
23	0	6	3	oui	6,0	90,0	0
24	0	5	0	-	1,5	22,5	2
25	0	4	0	-	0,0	0,0	4
26	0	5	0	-	0,0	0,0	5
27	13	5	8	-	10,5	157,5	0
<b>Coût total de possession 2 662,5</b>							26
<b>Coût total pénurie 5 200</b>							

Commentaires du tableau 3.17 :

- l'entreprise passe une commande en fin de semaine n° 3 car le stock devient inférieur au point de commande durant cette semaine ( $6 < 8$ ) ;
- notre échantillon aléatoire donne un 1<sup>er</sup> délai de livraison d'une durée de 3 semaines ;
- la livraison va donc intervenir en début de semaine n° 7 et elle correspondra à la somme des trois<sup>1</sup> semaines qui précèdent la commande (semaine de commande incluse) :  $2 + 8 + 4 = 14$  unités ;
- l'entreprise va ensuite passer une seconde commande en fin de semaine n° 8 puisque  $7 < \text{point de commande}$  ;
- le délai de livraison simulé est maintenant de 2 semaines ;
- la livraison de 13 unités ( $4 + 2 + 4 + 3$ ) aura donc lieu en début de semaine n° 11 ;
- etc.

Il faut maintenant comptabiliser les différents *coûts* associés à cette stratégie d'approvisionnement et de stockage :

- la somme de l'avant-dernière colonne du tableau permet d'obtenir le coût total de possession, soit 2 662,5 € ;
- le nombre de ventes manquées multiplié par le coût d'une vente manquée fournit le coût total de pénurie (on dit aussi de rupture) :  $26 \times 200 \text{ €} = 5\,200 \text{ €}$  ;
- le nombre de commande multiplié par le coût de passation unitaire donne le coût total de passation :  $5 \times 140 = 700 \text{ €}$ .

Ainsi, lorsque le stock d'alerte est de 8 composants, le coût total est de 8 563 €.

Comme l'indique le tableau 3.18, si le point de commande avait été fixé à 4 *composants*, on aurait eu :

- coût total de possession = 2 730 €
- coût total de pénurie = 5 800 €
- coût total de passation = 700 €
- soit un coût total = 9 230 €

Il semble donc que la réduction du stock d'alerte (et par suite la réduction du stock de sécurité) désavantage l'entreprise.

À titre d'entraînement, nous laissons le soin au lecteur de trouver le point de commande qui permet de minimiser le coût total. En effet, 8 n'est pas la solution optimale ; pour un point de commande de 10 unités, le coût total de gestion s'établit à environ 7 000 €. Encore une fois, nous encourageons vivement le lecteur à utiliser toutes les facilités qu'offre un tableur.

1. Pour cette première commande du début de l'activité, on ne peut considérer que les 3 premières semaines ; par la suite, comme nous le suggère l'énoncé, il faudra bien prendre 4 périodes.

Tableau 3.18 : Simulation n° 2 – Point de commande = 4 unités

Semaine	Approv.	Demande	Stock final	Cde	Stock moyen	Coût possession	Nb ventes manquées	
1	20	2	18	-	19,0	285,0	0	
2	0	8	10	-	14,0	210,0	0	
3	0	4	6	-	8,0	120,0	0	
4	0	5	1	oui	3,5	52,5	0	
5	0	4	0	-	0,5	7,5	3	
6	0	2	0	-	0,0	0,0	2	
7	0	4	0	-	0,0	0,0	4	
8	19	3	16	-	17,5	262,5	0	
9	0	2	14	-	15,0	225,0	0	
10	0	4	10	-	12,0	180,0	0	
11	0	3	7	-	8,5	127,5	0	
12	0	4	3	oui	5,0	75,0	0	
13	0	6	0	-	1,5	22,5	3	
14	0	4	0	-	0,0	0,0	4	
15	13	2	11	-	12,0	180,0	0	
16	0	4	7	-	9,0	135,0	0	
17	0	6	1	oui	4,0	60,0	0	
18	0	4	0	-	0,5	7,5	3	
19	0	4	0	-	0,0	0,0	4	
20	0	1	0	-	0,0	0,0	1	
21	16	2	14	-	15,0	225,0	0	
22	0	4	10	-	12,0	180,0	0	
23	0	6	4	oui	7,0	105,0	0	
24	0	5	0	-	2,0	30,0	1	
25	0	4	0	-	0,0	0,0	4	
26	13	5	8	-	10,5	157,5	0	
27	0	5	3	oui	5,5	82,5	0	
<b>Coût total de possession</b>							<b>2 730</b>	29
<b>Coût total pénurie</b>							<b>5 800</b>	

Plus le nombre de périodes considéré est important, plus la technique de la simulation constituera une véritable aide à la décision. L'informatique permet d'utiliser des échantillons aléatoires de très grande taille et les résultats obtenus sont alors significatifs. Des méthodes plus sophistiquées existent, comme par exemple celles fondées sur la technique de Monte-Carlo. Leur présentation dépasse le cadre de cet ouvrage.

## 2 Modèles de gestion de stocks calendaires en situation de demande aléatoire et de délai d'approvisionnement certain

La durée de la période séparant deux approvisionnements successifs est fixée et constante pendant toute la durée de fonctionnement du système ; les commandes sont donc effectuées à des intervalles de temps réguliers. La gestion calendaire ne correspond pas toujours à une stratégie délibérée, mais parfois à une méthode de gestion imposée par la nature du produit. L'exemple classique en matière de gestion calendaire est celui du pâtissier ou du marchand de journaux. Ce dernier est soumis à trois contraintes incontournables (il en va presque de même du pâtissier) :

- les journaux ne sont pas stockés à l'avance car ils sont imprimés au dernier moment ;
- les journaux ne sont pas stockés pour le lendemain car ils n'intéressent plus personne ;
- les journaux ne font pas l'objet de retraitage et de réapprovisionnement en cours de journée.

Ces caractéristiques font des prévisions de la demande un élément fondamental de la rentabilité du distributeur. Cette situation est intéressante à étudier car elle concerne de plus en plus de professions, dans lesquelles les produits sont périssables ou subissent l'effet de la mode ou de l'obsolescence technique. Les stocks de tels produits sont appelés *stocks à rotation nulle*. De tels cas se posent aujourd'hui, par exemple, pour les grands distributeurs de produits à date de péremption (yaourts, viandes, fromages, plats préparés, etc.) et d'une façon plus complexe pour les revendeurs de matériels informatiques ou téléphoniques.

Mais la gestion calendaire concerne bien sûr aussi des biens qui peuvent être stockés en fin de période, pour lesquels il sera donc nécessaire d'intégrer les niveaux de stocks de début de période. On parle dans ce cas de *stocks à rotation non nulle*. Bien que ces derniers soient tout aussi intéressants à étudier, nous n'avons pas souhaité en aborder la modélisation notamment pour des raisons de place<sup>1</sup>.

---

1. On trouvera une description particulièrement précise du fonctionnement de ces modèles dans V. Giard (1988), ou de façon plus concise dans P. Roger, 1990.

Par rapport aux indications données ci-dessus, les stocks à rotation nulle supposent que le coût de possession du stock est négligeable par rapport :

- soit au coût de la rupture lorsque la demande ne peut être satisfaite,
- soit au coût des produits invendus : lorsqu'il reste des produits en fin de période (que nous supposons invendables, même si d'autres solutions existent parfois : ventes promotionnelles, ventes à des entreprises de recyclage, etc.).

Ainsi, on posera comme hypothèse principale de ce modèle que les coûts sont non proportionnels au temps. De même, on négligera le coût de passation dans la mesure où les lancements sont programmés à l'avance ; leur périodicité est connue, leur nombre aussi. Or si  $f(x)$  est une fonction et  $c$  une constante, minimiser  $f(x) + c$  revient à minimiser  $f(x)$ .

Nous choisirons donc de résoudre le problème suivant : *quel est le niveau du stock qui en début de période minimise l'espérance du coût de gestion ?* Nous faisons intervenir la notion d'espérance car la demande est par hypothèse aléatoire : on ne peut donc calculer qu'une espérance. En revanche, deux situations peuvent se produire : la loi de la demande est discrète ou continue.

## 2.1 La demande est une variable aléatoire discrète

Partons d'un exemple concret. Chaque matin depuis des mois, la grande surface Carrechan, réputée pour la qualité de son rayon « traiteur », met en vente une certaine quantité (en kg) d'une préparation élaborée à base de poissons et de crustacés, préparation qui connaît un vif succès. Suite à de graves problèmes au rayon boucherie, elle applique depuis peu le *principe de précaution* sur la totalité de ses rayons « produits frais » et a décidé de jeter chaque soir la préparation qui n'aurait pas été vendue dans la journée. Alors que le prix de vente au kilo est de 49,95 €, les services comptables nous indiquent que le coût de revient au kilo s'établit à 16,45 €.

Le responsable du rayon « traiteur », afin d'en améliorer la rentabilité et d'arriver à une gestion optimale, a comptabilisé les ventes journalières<sup>1</sup> de la préparation en question durant les quatre derniers mois (100 jours de vente) :

<b>Demande quotidienne en kg</b>	0	5	10	15	20	25	30
<b>Effectifs ou fréquences en %</b>	2	11	16	36	18	13	4

Ainsi, la demande moyenne est de 15,60 kg par jour et l'écart type de la demande est de 6,76 kg.

Dans un premier temps, il est nécessaire d'établir les paramètres du modèle :

1. Sous l'hypothèse simplificatrice d'une demande toujours multiple de 5. Cela n'affecte en rien le raisonnement et les résultats ultérieurs.

- le manque à gagner par kg en cas de rupture de stock (noté  $C_R$ ) correspond à la différence entre le prix de vente et le coût de revient, soit  $49,95 - 16,45 = 33,50$  € ;
- le coût d'un kg invendu en fin de journée (noté  $C_I$ ) est égal au coût de revient puisque les produits invendus sont jetés, soit 16,45 €.

Une fois ce travail effectué, on a le choix entre deux méthodes de résolution, suivant que les valeurs prises par la variable sont peu nombreuses ou pas.

► **Méthode des tableaux**

Cette première méthode suppose que les niveaux de la demande et du stock puissent prendre des valeurs discrètes peu nombreuses. La comparaison entre le stock de début de journée et la quantité vendue par jour sera à la base de la construction du tableau 3.19 (a) :

- si demande = stock alors coût = 0
- si demande > stock alors coût de rupture =  $(D - S) \times C_R$
- si stock > demande alors coût des invendus =  $(S - D) \times C_I$

Tableau 3.19 (a) : Coûts de gestion du stock

		Niveau du stock en début de journée						
		0	5	10	15	20	25	30
Demande	0	0,0	82,3	164,5	246,8	329,0	411,3	493,5
	5	167,5	0,0	82,3	164,5	246,8	329,0	411,3
	10	335,0	167,5	0,0	82,3	164,5	246,8	329,0
	15	502,5	335,0	167,5	0,0	82,3	164,5	246,8
	20	670,0	502,5	335,0	167,5	0,0	82,3	164,5
	25	837,5	670,0	502,5	335,0	167,5	0,0	82,3
	30	1 005,0	837,5	670,0	502,5	335,0	167,5	0,0

Le tableau 3.19 (b) tient compte des probabilités de la demande. Pour chaque niveau de stock possible, on dispose donc d'une loi de probabilité discrète, dont on va calculer l'espérance mathématique.

L'espérance du coût de gestion la plus faible, c'est-à-dire 124,80 €, est celle qui correspond à un stock de début de journée de 20 kg. Si le responsable du rayon souhaite optimiser la rentabilité de son rayon, il doit donc faire confectionner chaque nuit 20 kg de préparation, avec l'espoir que les caractéristiques de la demande actuelle seront identiques à celle de la demande des périodes passées qui lui ont permis d'effectuer les mesures précédentes (nous faisons l'hypothèse que la demande

Tableau 3.19 (b) : Coûts probabilités de gestion du stock

		Niveau du stock en début de journée						
		0	5	10	15	20	25	30
Demande	0	0,0	1,6	3,3	4,9	6,6	8,2	9,9
	5	18,4	0,0	9,0	18,1	27,1	36,2	45,2
	10	53,6	26,8	0,0	13,2	26,3	39,5	52,6
	15	180,9	120,6	60,3	0,0	29,6	59,2	88,8
	20	120,6	90,5	60,3	30,2	0,0	14,8	29,6
	25	108,9	87,1	65,3	43,6	21,8	0,0	10,7
	30	40,2	33,5	26,8	20,1	13,4	6,7	0,0
Espérance du coût pour chaque niveau de stock (en €)		522,6	360,1	225,1	130,0	124,8	164,6	236,9

est stable, cf. section 1). Cette quantité conduit à disposer d'un *stock de sécurité* de 4,4 kg (20 – 15,6).

Pour cette quantité, le niveau de service est d'environ 83 % ; en effet, une lecture rapide de la distribution de la demande permet de constater que la demande est strictement supérieure à 20 kg dans 13 + 4 = 17 % des cas. Si le responsable du rayon avait souhaité privilégier la satisfaction de la clientèle plutôt que la recherche du coût minimum, il aurait pu faire préparer 25 kg afin d'arriver à un taux de service de 96 % (lecture directe : 100 % – 4 %). Dans ce cas, cela lui coûtera en moyenne environ 40 € de plus chaque jour (164,6 – 124,8).

### ► Généralisation. Niveau de service

Il s'agit de généraliser la méthode des tableaux aux situations où les valeurs discrètes prises par la variable sont trop nombreuses ; par exemple lorsque la statistique précédente est élaborée pour des demandes et des stocks de 0, 1, 2, 3, 28, 29, et 30 kg. Cela conduirait à proposer une matrice carrée de 31 lignes sur 31 colonnes. Même si les tableurs modernes permettent de gérer ce type de calculs, il est préférable d'utiliser la méthode suivante.

Le coût de gestion reste le même et se décompose en un coût total de rupture et un coût total d'inventus :

– cas où  $D > S$  :  $CT_R = (D - S)C_R$

– cas où  $S \geq D$  :  $CT_I = (S - D)C_I$

On doit donc minimiser l'espérance mathématique du coût total :

$$CT(S) = \sum_{D=0}^S (S - D)C_I p(D) + \sum_{D=S+1}^{+\infty} (D - S)C_R p(D)$$

La solution S qui minimise l'espérance du coût total de gestion<sup>1</sup> est telle que l'on choisit la plus petite valeur de S respectant l'inéquation suivante :

$$F(S) > \beta = \frac{C_R}{C_R + C_I}$$

où F est la fonction de répartition de la variable F(D) = p(d ≤ D)).

Dans un premier temps, il est donc nécessaire de calculer la valeur de β :

$$\beta = \frac{33,50}{33,50 + 16,45} = 0,6707$$

Ensuite, il faut établir la fonction de répartition de la variable :

Tableau 3.20 : Fonction de répartition

Valeur de la variable	Fréquences	Fréquences cumulées
0	0,02	0,02
5	0,11	0,13
10	0,16	0,29
15	0,36	0,65
<b>20</b>	0,18	<b>0,83</b>
25	0,13	0,96
30	0,04	1

F(15) = 0,65 < 0,6707 donc S\* = 15 n'est pas valable.

F(20) = 0,83 > 0,6707 donc S\* = 20 est la valeur du stock qui minimise le coût.

Ainsi, pour déterminer le niveau optimal du stock, il suffit de calculer β et d'établir la distribution des fréquences cumulées croissantes. On retrouve bien sûr le même résultat que par la méthode des tableaux.

1. Nous négligeons volontairement l'aspect mathématique de la résolution.

## 2.2 La demande est une variable aléatoire continue

Le principe est en fait identique au cas discret ; la demande est ici une variable aléatoire continue pouvant prendre toutes les valeurs d'un intervalle de  $\mathbb{R}$ . L'objectif est toujours de calculer la quantité optimale de préparation que le rayon traiteur doit fabriquer chaque nuit pour minimiser son coût de gestion. L'avantage de ce modèle est de permettre au décideur de choisir la quantité de produits à préparer avec une plus grande précision.

Si on note  $f(D)$  la densité de probabilité de la variable aléatoire  $D$  et  $F(D) = p(d \leq D)$  la fonction de répartition de la demande, la fonction à minimiser devient :

$$CT(S) = \int_{-\infty}^S (S - D)C_I f(D)dD + \int_S^{+\infty} (D - S)C_R f(D)dD$$

La valeur de  $S$  qui minimise le coût de gestion est telle que :  $F(S) = \beta$  toujours avec :

$$\beta = \frac{C_R}{C_R + C_I}$$

Prolongeons l'exemple précédent en imaginant que la demande est maintenant continue et que la loi suivie par la demande est une loi normale, ce qui est plausible puisque :

- la moyenne (15,60) est proche de la médiane (environ 13) ;
- le mode (15) est proche des deux valeurs précédentes ;
- la symétrie n'est pas parfaite, mais elle est suffisante pour que l'approximation soit correcte.

Donc, nous admettrons que la demande suit une loi normale :

- de moyenne :  $m_D = 15,60$  kg
- et d'écart type :  $\sigma_D = 6,76$  kg

Puisque la valeur de  $\beta$  n'a pas changé, on cherche la valeur de  $S$  telle que :

$$F(S) = 0,6707$$

$$\Leftrightarrow p(D \leq S) = 0,6707$$

$$\Leftrightarrow p\left(T \leq \frac{S - 15,6}{6,76}\right) \approx 0,67$$

où  $T$  est la variable centrée réduite habituelle qui suit une loi normale de moyenne 0 et d'écart type 1. La lecture sur la table de la loi normale centrée réduite permet d'écrire :

$$\Leftrightarrow \frac{S - 15,6}{6,76} = 0,44$$

$$\rightarrow S^* \approx 18,6$$

Ainsi, le coût de gestion est minimum pour un stock initial de 18,6 kg. Nous obtenons ainsi un résultat plus précis que dans le cas discret.

Dire que  $p(D \leq 18,6) = 0,67$  signifie que l'on fixe la valeur du stock de telle sorte que la probabilité que la demande soit inférieure ou égale à 18,6 kg est d'environ 67 %. Nous savons que cette valeur est en fait appelée *taux de service*. Le risque de rupture élevé de 33 % peut ne pas correspondre à l'*image de marque* que le magasin souhaite diffuser dans le public.

En utilisant  $C_R$  et  $C_I$ , il est fréquent d'obtenir des taux de service incompatibles avec les exigences des services commerciaux. Les ruptures répétées sur certains produits peuvent conduire les clients à changer progressivement d'enseigne. En ne reflétant que le manque à gagner unitaire de court terme, *le coût de rupture précédent néglige les effets possibles à plus long terme*.

C'est pourquoi le responsable peut décider de fixer le coût de rupture à un niveau bien supérieur au manque à gagner immédiat (33,50 €) et qui traduirait par exemple la perte définitive du client sur le produit considéré<sup>1</sup>. Or, plus le coût de rupture augmente, plus le taux de service se rapproche de l'unité. En imaginant qu'une vente perdue coûte en réalité dix fois le manque à gagner immédiat, soit 335 €, la valeur de  $\beta$  s'établit à environ 0,95. Il est donc possible de se demander quelle serait la valeur  $s$  du stock qui permettrait, par exemple, d'avoir :  $\text{Proba}(D \leq s) = 95\%$ .

Cherchons  $s$  pour que la probabilité que la demande soit inférieure à  $s$  soit égale à 95 %. On cherche donc une valeur de stock qui ne permette d'être en rupture qu'avec une probabilité de 5 %.

$$p(D \leq s) = p\left(T \leq \frac{s - 15,6}{6,76}\right) = 0,95$$

$$\Leftrightarrow \frac{s - 15,6}{6,76} = 1,6449$$

$$\rightarrow s \approx 26,7$$

Il est logique d'accroître le *stock de sécurité* qui passe à 11 kg pour faire baisser les risques de rupture. Mais cette politique a un coût. En effet, pour  $s = 26,7$  kg, le coût de gestion de court terme, tel qu'il a été défini plus haut, n'est plus minimum. Le calcul du coût total étant fastidieux et long, nous ne le déterminerons pas<sup>2</sup>. En revanche, on espère que cette *volonté de satisfaire le client* permettra dans le moyen

1. À partir de maintenant, nous « déconnectons » le calcul de  $\beta$  de celui du coût total : le décideur n'a plus pour objectif la minimisation de la fonction de coût, mais cherche simplement à mesurer l'impact de plusieurs taux de service différents sur le niveau du stock initial requis.

2. Sur la base du cas discret, on peut raisonnablement penser que l'espérance du coût sera d'environ 190 € pour un stock initial de début de journée de 26,7 kg.

long terme de minimiser les coûts de gestion (même si le prix à payer est une forte augmentation du coût total des quantités invendues) et de fidéliser le client.

## Conclusion

Aujourd'hui, *la satisfaction du client est un élément prioritaire*. Le développement de concepts tels que l'ECR (Efficient Consumer Response), la SCM (Supply Chain Management), ou encore le CPFR (Collaborative Planning Forecasting Replenishment) et le *Fulfillment*<sup>1</sup> montre sans ambiguïté que les préoccupations des entreprises sont tournées vers le client et vers la rapidité avec laquelle il sera servi. Les stocks jouent ici un rôle essentiel. Tempérer les excès de mots d'ordre (« zéro stock »), pris parfois un peu trop au pied de la lettre, ne peut être que positif.

De même, le développement de plates-formes de stockage aux dimensions sans cesse en augmentation (parfois, les surfaces sont proches de 100 000 m<sup>2</sup>), suppose une organisation des flux et des stocks sans faille, tant le nombre de références est élevé. Certes, la pratique croissante du *cross-docking*<sup>2</sup> relativise l'importance du stockage, puisque les biens concernés ne font que transiter par l'entrepôt sans s'y arrêter vraiment. Mais, malgré l'engouement pour ce type d'organisation, la plupart des références dans la majorité des branches, sont stockées avant d'être prélevées : gérer au mieux et de façon différenciée tous ces stocks permettent aux entreprises de gagner en compétitivité.

Enfin, même si la tendance est au zéro stock dans de nombreux secteurs industriels, il ne faut pas être dupe de certaines pratiques. En effet, les grands donneurs d'ordre, au fort pouvoir de négociation, imposent à leurs sous-traitants et fournisseurs un mode d'organisation des flux qui provoque souvent le *déplacement physique des stocks* des premiers vers ces derniers, plutôt que leur véritable disparition. Certains fournisseurs homologués puissants font parfois de même avec leurs propres sous-traitants. Le fait que les grandes entreprises (constructeurs automobiles, grands assembleurs...) travaillent en flux tendus n'empêche pas la présence de stocks dans les phases amont du processus productif. Pour toutes les entreprises contraintes de stocker, la maîtrise des méthodes de gestion des stocks et des approvisionnements reste un impératif.

- 
1. Ensemble d'activités organisées autour d'une commande client en vue de lui donner pleine satisfaction. Il s'agit notamment de la gestion opérationnelle des commandes client, *des activités de stockage* et de transport, ainsi que des activités liées aux retours (*reverse logistics*).
  2. Les problèmes liés au *cross-docking* et plus généralement à la logistique feront l'objet du chapitre 5. Dans le cadre d'une approche « intégrée », nous souhaitons insister ici sur les liens étroits qui existent entre la gestion des stocks et la logistique.

### Thèmes de réflexion

- 1 – Quelles sont les principales critiques du modèle de Wilson ?
- 2 – Dans la plupart des progiciels de gestion de stock, il existe un module permettant d'évaluer financièrement les stocks. Quelles sont les méthodes classiques d'évaluation ?
- 3 – Par quels moyens une entreprise peut-elle augmenter en même temps son taux de rotation et son niveau de service ?
- 4 – Selon vous, dans le contexte actuel, est-il plus grave d'être en rupture de stock ou en situation de sur-stockage chronique ?
- 5 – Le développement du e-commerce conduit-il à donner aux stocks plus ou moins d'importance ?

### Exercices

#### Exercice 1

(Extrait de l'examen, juin 1997 – Université Paris I Panthéon Sorbonne – MSG)

Vous êtes le responsable de la gestion des stocks de CHIMIE-2000, entreprise de produits chimiques. Vous vous intéressez au Xylithol, produit liquide issu de vos laboratoires et fabriqué chaque matin. On considère qu'il y a 280 jours ouvrables dans l'année. Ce produit est vendu l'après-midi à plusieurs firmes pharmaceutiques, qui l'incorporent dans un nouveau médicament. La caractéristique principale du Xylithol réside dans son instabilité : s'il n'est pas incorporé au médicament dans les 12 heures qui suivent sa fabrication, le Xylithol perd alors ses propriétés curatives et doit être jeté.

Une étude de la demande journalière de Xylithol auprès de CHIMIE-2000 a permis de constater que celle-ci suit une loi normale de moyenne  $m = 450$  cl et d'écart type  $\sigma = 50$  cl. La production journalière est stockée dans une petite cuve de verre, munie d'un distributeur permettant de satisfaire avec précision toutes les demandes. On notera le très faible encombrement de la production quotidienne. Le centilitre est vendu 1,62 K€. aux firmes pharmaceutiques et procure un bénéfice de 1,3 K€. à CHIMIE-2000.

1. À quel modèle de gestion des stocks est-il fait référence ?
2. Déterminer les paramètres de ce modèle.
3. Calculer la quantité optimale que CHIMIE-2000 doit produire chaque jour afin de minimiser l'espérance mathématique du coût aléatoire de gestion du Xylithol.
4. En déduire le niveau du stock de sécurité.
5. La direction de CHIMIE-2000 impose de respecter un taux de rupture de 10 %. Calculer la quantité produite.
6. Déterminer le nombre moyen de jours de rupture dans l'année.

### Exercice 2

(Extrait de l'examen, juin 2000 – Université Paris XI – Orsay – MIAGE)

L'entreprise Durox vend un produit non périssable, le WIZ, qu'un fournisseur lui livre par camions. Le 8 septembre 2001 au soir, s'achevait une période de gestion des stocks anarchique. Durox vous embauche afin d'améliorer la situation. Vous disposez des informations suivantes :

- le stock final au 8/09/2001 est de 300 produits ;
- les ventes seront considérées comme régulières et égales à 50 unités par jour ;
- la période de gestion sera l'année de 360 jours à partir du 9/09/2001 ;
- Durox souhaite se faire livrer une quantité fixe de produits, selon une périodicité régulière ;
- les 300 produits restants seront utilisés pour constituer le stock de sécurité, qui devra être maintenu toute l'année à ce niveau ;
- les dimensions du WIZ sont 0,5 m sur 0,5 m ;
- le délai de livraison est 2 jours ;
- le fournisseur n'accepte de transporter le produit que par lot de 600 unités ;
- les frais administratifs fixes liés à la passation d'une commande sont de 100 € ;
- le coût de possession est de 0,04 € par jour et par produit ;
- les frais de transport sont de 0,1 € par produit transporté et 300 € par livraison ;
- la surface maximale de stockage chez Durox, pour le WIZ est de 350 m<sup>2</sup>.

1. Déterminer la *stock moyen* (en fonction de  $q$ , quantité commandée).
2. Expliciter la *fonction de coût* de gestion du stock du WIZ.
3. À partir de la fonction précédente et des contraintes précisées ci-dessus, déterminer la *politique optimale* de gestion du stock du WIZ retenue par Durox (on précisera notamment la quantité commandée, le coût total, le stock d'alerte et la périodicité des livraisons).

### Exercice 3

(Prolongement de l'exemple Carrechan – Chapitre 3 – Section 4, § 2.1)

Carrechan est installé dans une galerie marchande où il possède aussi un restaurant. Ce dernier confectionne et sert une préparation identique à celle servie au rayon traiteur de l'hypermarché. Parce qu'il s'agit d'un restaurant, le coût de revient au kilo est plus élevé, ainsi que le prix du plat commandé à la carte (prix rapporté au kilo). Mais le même principe de précaution fait que les restes sont jetés en fin de journée. Une étude de la consommation de ce plat par les clients du restaurant, sur 100 jours, a permis de dire que la demande quotidienne suivait une loi normale de moyenne 8 kg et d'écart type 2 kg.

Étudier les impacts d'un regroupement de la fabrication dans le restaurant (sur la rentabilité et sur la qualité du service) ? On fera l'hypothèse que les clients de la grande surface iront acheter la préparation « à emporter » dans le restaurant et qu'il y a indépendance entre les deux types de clientèle.

*Exercice 4*

L'entreprise Ducharme s'intéresse à l'un de ses produits et souhaite en optimiser la politique de stockage. Les ventes mensuelles prévues pour l'année 2002 sont données par le tableau suivant :

janvier	300	février	200	mars	200
avril	300	mai	300	juin	400
juillet	600	août	600	septembre	300
octobre	200	novembre	400	décembre	200

Sur la base des prévisions actuelles de vente, le stock final en 2001 sera de 1 000 unités. Le prix unitaire du produit est de 20 €, le taux de possession pour 2002 est estimé à 6 % et les frais de passation à 225 € par commande. Le responsable des achats souhaite commander une quantité constante. Le délai de livraison est de 5 jours et Ducharme fait une entière confiance à son fournisseur quant au respect du délai. Cependant, le directeur de Ducharme désire que le stock de sécurité soit maintenu à un niveau égal à 25 % des quantités commandées.

Déterminer la politique optimale d'approvisionnement (quantité, dates), puis son coût.

# 4 L'ORGANISATION MODERNE DE LA PRODUCTION : LE JUSTE-À-TEMPS

**D**epuis la fin des années 70, la complexification de l'environnement et son instabilité conduisent les entreprises occidentales à adopter une nouvelle philosophie productive d'inspiration japonaise. D'un point de vue opérationnel, celle-ci se traduit par le recours à de nouveaux principes de gestion et à l'utilisation d'instruments originaux qu'il convient de mettre en cohérence avec l'organisation et son environnement. Ce modèle de production qualifié de *flexible* tend progressivement à se substituer au modèle traditionnel d'inspiration taylorienne. D'une part, il remet en cause la plupart des postulats issus de l'OST, en privilégiant une globalisation des opérations, un équilibrage des rapports de force entre acteurs, une augmentation du niveau de qualification... D'autre part, une démarche d'anticipation et de prévention des risques se développe. De nouveaux objectifs, comme la flexibilité et la réactivité, s'imposent alors à l'ensemble des acteurs de l'entreprise dans le cadre d'une logique de gestion en juste-à-temps (JAT).

Au cœur de cette nouvelle logique, la gestion des processus tient une place à part. En effet, s'il est courant de faire résulter la compétitivité de l'entreprise moderne de l'adoption de nouvelles techniques de management en rupture avec l'OST et de l'introduction d'innovations technologiques, elle découle aussi de la priorité accordée aux processus. À partir d'une représentation transversale de l'organisation et non plus fragmentaire, l'entreprise se fixe des objectifs intégrateurs pour l'ensemble des fonctions et des acteurs. La maîtrise de la complexité nécessite en effet l'implication de tout le personnel autour d'une démarche commune d'amélioration permanente. Atteindre l'excellence industrielle à travers le JAT ne se résume donc pas à une simple substitution flux tirés-flux poussés.

La refonte des principes classiques de gestion s'organise en fait autour d'une démarche englobant à la fois des aspects culturels, organisationnels, technologiques et stratégiques. C'est donc l'apprentissage d'une philosophie de pensée originale, fondée notamment sur la gestion des processus dans le cadre du JAT, qui préside au développement d'une organisation intégrée et flexible. Cette démarche productive s'organise autour d'objectifs intégrateurs qui complexifient la gestion. De nouveaux instruments en JAT permettent d'assurer, par une simplification des processus et un souci constant d'amélioration, l'efficacité du système.

- 
- |           |   |
|-----------|---|
| Section 1 | ■ Vers un système de production flexible en Occident :<br>la complexification des objectifs de la gestion de production |
| Section 2 | ■ L'apprentissage d'une nouvelle culture organisationnelle :<br>le juste-à-temps  |
| Section 3 | ■ Les instruments du JAT :<br>les moyens de lutte contre le gaspillage  |
- 



## VERS UN SYSTÈME DE PRODUCTION FLEXIBLE EN OCCIDENT : LA COMPLEXIFICATION DES OBJECTIFS DE LA GESTION DE PRODUCTION

Le développement d'une culture de gestion et d'organisation en rupture avec le modèle taylorien trouve ses fondements dans la précarisation de l'environnement de l'entreprise. Il s'en suit une nécessaire adaptation de l'entreprise à travers le maintien de certains objectifs traditionnels et l'adoption de nouveaux principes de gestion plus globaux et plus fédérateurs.

### 1 La précarisation de l'environnement

La remise en cause de l'OST se manifeste par des crises sociales importantes dès les années 20 aux États-Unis et à partir des années 60 en Europe (*cf.* chapitre 1). Parallèlement à ce malaise social, des facteurs économiques et technologiques participent à l'essoufflement du modèle traditionnel. La précarisation de l'environnement de l'entreprise, très marquée à partir de la fin des années 70, se caractérise notamment par<sup>1</sup> :

---

1. *Génie industriel : les enjeux économiques*, ouvrage collectif sous la direction de M. Hollard, Presses Universitaires de Grenoble, 1994.

- la concurrence internationale voire mondiale qui s'affirme de façon croissante et notamment l'offensive des firmes nippones en Amérique du Nord et en Europe,
- la déréglementation et la construction européenne qui supposent une remise en cause des stratégies productives et des structures traditionnelles de production,
- l'apparition de nouvelles formes organisationnelles efficaces notamment en Asie, mais difficilement transposables en Occident,
- le développement de techniques de production incorporant un fort progrès technique (électronique, informatique, technologies de l'information) et rapidement obsolètes.

Ces facteurs contribuent à façonner l'environnement de l'entreprise dans le sens d'un accroissement de la *complexité* et de l'*incertitude*. Ils ont donc des répercussions directes sur le processus productif. Ainsi, le mouvement de globalisation économique impose-t-il à l'entreprise de délocaliser sa production afin d'aligner ses coûts de revient sur ceux des nouveaux concurrents. Il conduit aussi à une décentralisation de l'organisation, donc à une délégation du pouvoir dans l'entreprise. De même, devant une offre abondante, la demande devient plus volatile et exigeante en terme de différenciation du produit et de rapport qualité-prix. En conséquence, la gestion de la qualité s'impose désormais comme la condition indispensable à la participation à la concurrence par les prix et non comme un moyen détourné permettant d'y échapper. De plus, l'innovation devient aussi un des éléments clés de la stratégie productive, le raccourcissement du cycle de vie du produit exerçant une forte pression sur l'entreprise.

## 2 Le développement d'objectifs intégrateurs

Le malaise social des ouvriers, la globalisation économique et l'évolution technologique laissent suggérer l'inadaptation du système traditionnel. De nouvelles règles doivent donc a priori présider à la réalisation de ce qu'il est convenu d'appeler « les impératifs modernes de la production » que sont les coûts, la qualité, les délais... Mais, plutôt que de parler de nouvelles règles de la production, peut-être vaudrait-il mieux évoquer le terme *d'aménagement* des règles. En effet, il semble que cette évolution découle davantage d'une complexification des objectifs de l'entreprise, plutôt que d'une remise en cause des objectifs traditionnels au profit de nouveaux impératifs.

### 2.1 Les coûts : des économies d'échelles au dilemme variété/productivité

Si la globalisation favorise des évolutions parfois radicales dans les comportements de production (délocalisation, décentralisation...), elle contribue aussi au maintien de certains principes de gestion fondamentaux. C'est notamment le cas de la maîtrise des coûts. Mais le problème qui se pose dans ce contexte mondial est complexe. En

effet, alors que l'OST s'est développée dans une conjoncture favorable à la maîtrise des coûts à travers la production de masse et la réalisation d'économies d'échelle, le contexte de globalisation associé à une demande de plus en plus variée, rend difficilement réalisable l'objectif de maîtrise des coûts. Comment maîtriser la productivité tout en proposant à la clientèle des produits variés, fabriqués en petite quantité ? En fait, la question qui se pose au gestionnaire de la production est de résoudre le dilemme productivité-flexibilité.

Face à cette apparente antinomie entre ces deux impératifs, le nouveau modèle de production propose des solutions. Il s'agit tout d'abord de recourir aux *équipements flexibles* (robots, automates programmables, machines à commandes numériques...) sachant que leur utilisation ne se justifie que si le degré de variation de la production est fort (Stigler). L'adoption de *stratégies de différenciation* lors du processus de production constitue une seconde solution. Ce dernier principe consiste à reculer l'étape de différenciation du produit très en aval de la chaîne de production et à conserver le plus longtemps possible des composants standards afin de dégager des économies d'échelle sur la majeure partie du processus. La différenciation perceptuelle des produits (au moyen de la publicité notamment, qui agit sur la subjectivité de l'acheteur) et la conception modulaire des produits (les meubles en kit en sont un exemple) constituent deux moyens d'introduire la différenciation retardée à des niveaux différents de la chaîne productive (Tarondeau, 1993).

## 2.2 La flexibilité

Si, de manière générale, la flexibilité se définit comme la capacité du décideur à s'adapter ou, plus précisément, comme son aptitude à remettre en cause à tout moment sa décision, tout en conservant l'optimalité de son choix, nous verrons que ce concept a évolué au fil du temps et qu'il est aujourd'hui à multiples facettes.

### ► *D'une gestion opérationnelle des délais à une gestion stratégique du temps*

Si la globalisation économique conduit l'entreprise à réduire ses coûts, elle impose aussi de façon évidente la maîtrise des délais. En effet, la gestion du temps devient un impératif de nature stratégique pour une entreprise qui évolue dans un environnement complexe et dynamique. Mais cette préoccupation, à défaut d'être majeure dans le modèle traditionnel, n'est toutefois pas ignorée. On la retrouve notamment à travers le rôle joué par le bureau du planning. Celui-ci a pour fonction, d'une part de programmer les contenus d'activité de façon à minimiser les pertes de temps, et d'autre part de coordonner les flux donc de maîtriser les délais. De même, les opérations de chronométrage du travail de l'ouvrier participent aussi à cette volonté de maîtrise des délais de fabrication. Toutefois, ces opérations résultent plus d'une logique de nature opérationnelle que de nature stratégique. En effet, il s'agit d'une préoccupation de court terme qui sert avant tout les intérêts de l'entreprise. Il s'agit en priorité de réduire les coûts de fabrication plutôt que de satisfaire le client par un délai de réaction très bref.

L'abandon du modèle traditionnel conduit à passer d'une gestion du temps de nature opérationnelle à une gestion plus stratégique. Celle-ci se fonde sur *la faculté de réponse et d'anticipation* de l'entreprise. C'est donc la capacité d'action et de réaction de l'entreprise qui est en jeu à travers sa flexibilité. Le JAT répond à cet objectif puisqu'il assure – entre autres objectifs (tels la réduction des coûts et la satisfaction du client) – la fabrication du produit au moment voulu.

Concrètement, le *système de production au plus juste* ou *lean production*, en se focalisant uniquement sur ce qui a de la valeur pour le client, dès la conception et jusqu'à la commercialisation, répond à cet impératif. En effet, en privilégiant la minimisation du temps de développement des produits, l'élimination des gaspillages, la distribution dans de brefs délais... tous les efforts de l'entreprise convergent vers le client à partir d'une gestion stratégique du temps et des délais. De même, le développement de nouvelles modalités de fabrication de *type synchrone*<sup>1</sup> illustre bien la volonté des entreprises d'assurer la réactivité de leur système productif par un processus d'intégration croissant avec leurs partenaires industriels. Il s'agit alors de livrer le client en temps réel, dans l'ordre du besoin de sa demande, même si ses exigences en terme de variété de gamme sont élevées. La *tension des flux* contribue donc bien ici à la réalisation de cet impératif stratégique.

### ► *D'une conception locale de la flexibilité vers une conception globale*

Si la dimension purement temporelle de la flexibilité a évolué, passant ainsi d'une conception opérationnelle à une conception stratégique, c'est aussi sa nature même qui a changé. En associant à une *conception locale* une *perception plus globale*, la flexibilité devient un objectif intégrateur pour l'ensemble des acteurs de la production (cf. figure 4.1).

La flexibilité *locale* de l'entreprise se traduit en fait par une capacité d'adaptation de l'appareil productif de nature *technique*. Elle s'illustre essentiellement par une flexibilité de nature opératoire concernant le produit et le processus de production (P. Bardelli, 1996). L'introduction d'un processus de différenciation retardée au sein de l'atelier constitue alors une solution permettant de répondre au dilemme productivité-flexibilité. Mais la pression à l'innovation et l'évolution des modes de concurrence entre entreprises conduisent à prendre en considération une nouvelle dimension plus *globale*. Elle se traduit notamment par des mutations de nature *organisationnelle et sociale*. Mais plus largement, cette flexibilité globale introduit trois types de changements :

D'un point de vue *temporel*, la flexibilité globale contribue à élargir la zone d'exercice de la flexibilité. La capacité d'adaptation ne concerne pas seulement les activités productives de court terme qui résultent de décisions de nature opérationnelle et administrative (gestion des commandes au quotidien, gestion des aléas courants de la

1. On trouve souvent ce type de système dans la branche automobile. Nous aborderons le fonctionnement synchrone dans les derniers paragraphes de ce chapitre, ainsi que lors du prochain chapitre.

production), mais elle s'étend aussi aux décisions de nature stratégique qui engagent l'entreprise sur le *long terme* (conclusion d'une alliance stratégique avec un concurrent visant à l'introduction d'une innovation de produit, coopération avec un sous-traitant afin de moderniser de façon conjointe l'appareil productif).

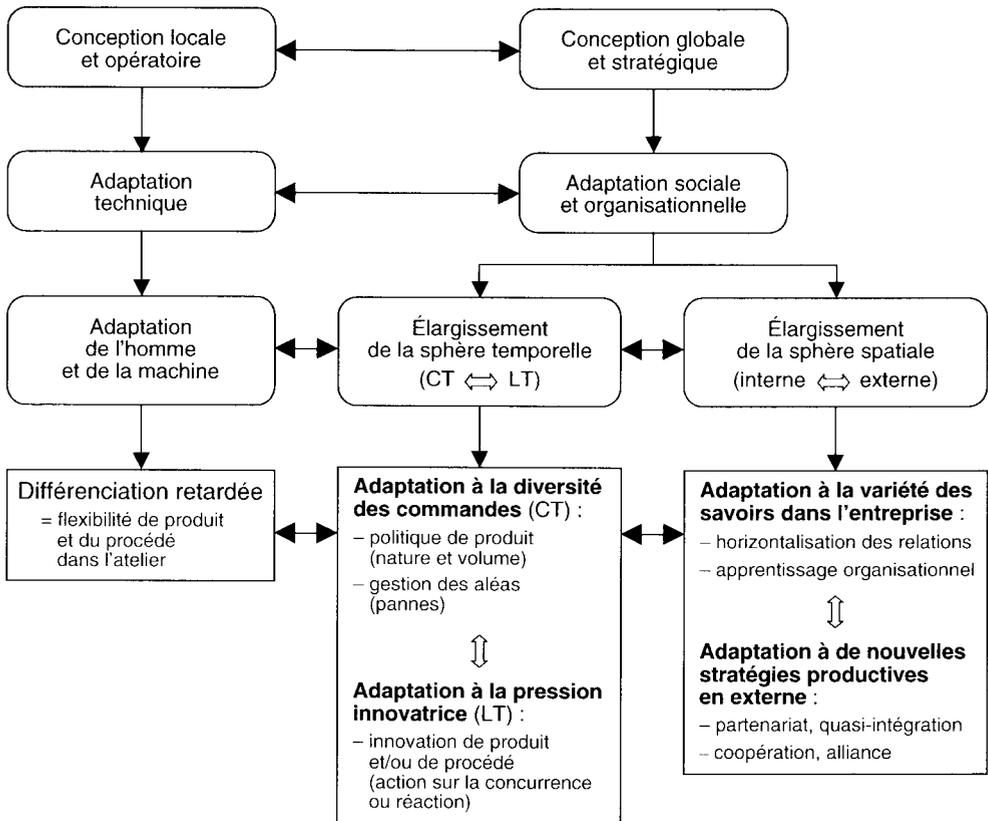


Figure 4.1 : Processus d'intégration de la flexibilité

En associant à une conception locale et opérationnelle une conception globale, la flexibilité introduit une deuxième rupture de nature « spatiale ». En effet, elle élargit sa sphère de compétence au-delà des frontières de l'entreprise. En interne, cette flexibilité organisationnelle et sociale repose sur la polyvalence des salariés, la modulation de la durée du travail, l'introduction de nouveaux modes de rémunération et le délai de réaction de l'organisation (fluidité dynamique) (P. Bardelli, 1996).

Mais dans son processus d'intégration global, la flexibilité s'apprécie aussi par rapport à sa capacité à opérer un certain nombre de restructurations de nature externe (contrats de long terme avec les sous-traitants, formation du personnel du sous-traitant par le donneur d'ordre ou inversement, échange ou prêt de personnel,

transfert de compétences...). Donc, les restructurations organisationnelles remettent en cause les modes de coordination traditionnels dans l'entreprise (nouveau rapport salarial, horizontalisation des relations de travail...) mais aussi entre entreprises. Cela se traduit par la mise en œuvre de nouvelles relations avec l'environnement (partenariat, quasi-intégration – la confiance se substituant à des relations de travail très formelles – coopération avec les concurrents).

Tableau 4.1 : Typologie de la flexibilité et définition

<b>Flexibilité</b>	<b>Variable stratégique</b>	<b>Définition de la flexibilité</b>
De réponse	Environnement	Capacité d'adaptation de l'entreprise aux évolutions de son environnement
D'initiative	Environnement	Capacité de l'entreprise à façonner son environnement
Statique	Ressources	Surcapacités productives spécifiques à chaque processus de production ou surcapacités résultant de l'entretien d'une offre simultanée de plusieurs processus de production alternatifs
Dynamique	Délai de réaction	Adaptation à l'environnement grâce à la maîtrise des temps propres aux diverses opérations et à leur enchaînement, notamment au moyen de nouvelles formes d'organisation
Qualitative	Méthode	Capacité des facteurs de production à être affectés à la réalisation de tâches de nature différente
Quantitative	Volume	Capacité des facteurs de production à répondre aux variations de la production en volume
Interne	Ressources	Capacité d'adaptation des facteurs de production disponibles au sein même de l'entreprise
Externe	Environnement	Capacité du décideur à gérer les informations en provenance de son environnement afin de s'y adapter
De produit	Variété	Capacité opérationnelle du système de production à traiter un ensemble de produits de diversité donnée et/ou à modifier les produits existants
De processus	Volume, Méthode	Capacité opérationnelle du système à modifier ses procédures de production

Enfin, c'est le cadre même d'exercice de la flexibilité qui est différent. Par opposition à la flexibilité locale qui repose sur un cadre technique, cette conception globale privilégie un cadre d'exercice de nature sociale et organisationnelle. En effet, l'entreprise doit pouvoir réagir aux contraintes d'un environnement dynamique et incertain, non seulement au moyen d'équipements flexibles (flexibilité statique), mais aussi et surtout en développant la réactivité de l'organisation (flexibilité dynamique).

À travers les différentes évolutions constatées, la flexibilité apparaît aujourd'hui comme l'une des caractéristiques majeures recherchées dans la gestion des entrepri-

ses industrielles modernes. L'acceptation « système flexible de production », souvent utilisée pour qualifier le nouveau modèle, traduit en fait l'importance de cet impératif aux multiples facettes.

Une typologie simplifiée de ce concept permet d'appréhender les différents enjeux de des systèmes de production flexibles<sup>1</sup> (cf. tableau 4.1).

### **2.3 L'innovation : d'une conception linéaire à une conception concourante**

#### **► L'évolution des modèles d'innovation vers l'intégration**

Depuis les années 80, face à un contexte technico-économique caractérisé par la globalisation, l'instabilité de l'environnement et une pression concurrentielle accrue, le rôle de « l'innovation » apparaît central. Au niveau de l'entreprise et du gestionnaire de la production, l'innovation constitue un champ privilégié d'attention et d'observation. En effet, l'essentiel de ses variables affecte l'activité du gestionnaire, tant au niveau des process que des produits. En conséquence, si les interventions du gestionnaire de la production dans le domaine de la gestion de l'innovation le limitaient traditionnellement à un simple rôle d'utilisateur, elles s'élargissent désormais. En le conviant à participer directement au processus de création, notamment afin d'anticiper les difficultés liées à la phase d'industrialisation, il obtient aujourd'hui le statut d'acteur de l'innovation. Mais dans un tel contexte technico-économique, la tâche qui lui est confiée – ainsi qu'à tous les acteurs de l'innovation – n'est pas simple. Ainsi, alors que le cycle de vie des produits se raccourcit sous la pression de la concurrence et des consommateurs, il devient de plus en plus coûteux pour l'entreprise d'investir dans la recherche-développement. La question d'un nouveau modèle de la gestion de l'innovation est alors posée.

Ce problème se voit partiellement résolu si l'on accepte de passer dans l'entreprise d'une vision traditionnellement « séquentielle » et linéaire de l'innovation à une vision « systémique ». L'approche séquentielle<sup>2</sup> considère l'innovation comme un processus de nature temporelle, linéaire et unidirectionnelle. Les flux d'information trouvent leurs origines dans les activités de recherche-développement pour aboutir, après élaboration de prototypes, à une invention qui ne deviendra innovation qu'une fois introduite dans le système productif et lancée sur le marché. Cette approche séquentielle ne prend pas en compte les allers-retours entre science-technologie-économie, ni les rapports établis dans l'entreprise et en dehors de l'entreprise entre les différents acteurs (scientifiques et gestionnaires). Même si cette analyse tradi-

1. Deux remarques s'imposent par rapport à cette typologie :

- notre typologie n'est pas exhaustive par rapport au thème général qu'est la flexibilité mais se justifie par rapport à notre cadre d'analyse (l'activité productive) ;
- des combinaisons sont possibles entre ces différents types de flexibilité (flexibilité de réponse statique/dynamique, flexibilité dynamique interne/externe, etc.).

2. *Génie industriel : les enjeux économiques*, op. cité.

tionnelle s'est trouvée par la suite complexifiée, notamment avec la multiplication des interactions et rétroactions entre les différentes étapes du processus (voir le modèle alternatif ou de liaison en chaîne en 1986 de Kline et Rosenberg), elle privilégie toujours une chaîne linéaire de l'innovation. La recherche-développement ne serait plus le lieu de production de l'innovation, mais celle-ci trouverait son origine plus loin dans la chaîne, au niveau des activités de design et d'ingénierie du processus de l'entreprise. « L'approche systémique » de l'innovation permet de remettre en cause l'idée de séquentialité. En privilégiant un fort degré d'interaction entre acteurs venus d'horizons différents (scientifiques, gestionnaires de l'entreprise, fournisseurs, consommateurs, concurrents...) elle multiplie les lieux d'émergence de la connaissance. L'innovation résulte d'un « processus cumulatif » et non plus d'une succession d'innovations mineures et/ou majeures. « *Les progrès des connaissances et l'innovation sont des processus cumulatifs, qui proviennent aussi bien des activités de recherche-développement stricto sensu et des autres investissements immatériels, tels la formation, que les activités traditionnellement placées en aval, notamment la production* ». (V. Jacquier-Roux, et J.-J. Chanaron, 1994)

La prise en compte du rôle des différents acteurs permet à de nouveaux savoir-faire organisationnels de se mettre en place. À l'intérieur comme à l'extérieur de l'entreprise, les rétroactions entre les différents experts se multiplient, grâce notamment à la création de « plates-formes de liaison ». En définitive, c'est de cette coopération complexe entre experts issus de milieux différentes que résulte le savoir-faire de l'entreprise.

## REPÈRES

Toyota a construit à Tokyo un immeuble futuriste permettant à une filiale de Toyota – la Toyota Amlux Company – de proposer des modèles de voiture sur mesure et à la carte. Toyota présente ainsi au public, dans le cadre d'une exposition, les processus de fabrication des voitures, les exploits sportifs de la marque... Un studio de design en temps réel a été mis en place et permet aux visiteurs (consommateurs potentiels) de concevoir le véhicule de leur rêve. Ces informations sont transférées au bureau style de Toyota.

### ► *L'apprentissage organisationnel au cœur du processus d'innovation*

Le problème posé par la gestion de l'innovation dans le cadre des nouveaux paramètres de gestion que sont le raccourcissement du cycle de vie des produits, l'augmentation des coûts de la R & D... se voit partiellement résolu par l'augmentation de la « capacité d'apprentissage » de l'entreprise. Il découle de cette faculté un savoir-faire intrinsèque à la firme et donc difficilement appropriable par toute autre entreprise. Cette inappropriabilité est liée à la nature même du processus d'innovation, très endogène à l'entreprise, ainsi qu'à son fort degré de complexité. Celui-ci est le fruit

d'arbitrages constants, multiples, de nature variée (scientifique, économique, technique, social...) mais aussi de l'extension des compétences et des responsabilités de chacun dans le domaine de l'innovation. Cet apprentissage organisationnel s'illustre notamment à travers la mise en place de processus d'innovation de type concourants ou d'expériences de codéveloppement.

• *La concourance*

En 1991, une enquête internationale menée par le cabinet A. D. Little auprès de plus de 700 chefs d'entreprises a montré que « *la réduction de la durée de développement des produits ainsi que le respect des dates de lancement sont des facteurs décisifs de succès pour les entreprises*<sup>1</sup> ». De plus, des observateurs ont mis en avant le rôle clé du développement simultané dans le cadre d'équipes autonomes et multidisciplinaires pour la réduction des durées de développement, en opposition à des procédures *séquentielles* menées par des équipes de spécialistes.

Un mode de coopération privilégié, plus réactif, apparaît aujourd'hui dans le cadre de « *l'ingénierie simultanée* », et plus récemment de la concourance. L'objectif est ici d'associer simultanément différents acteurs au processus de gestion de l'innovation. Selon l'AFNOR, « *l'ingénierie intégrée est une approche qui permet une conception intégrée et simultanée des produits et des processus liés à ces derniers, y compris la production et le soutien. Elle est destinée à permettre aux développeurs de prendre en compte dès l'origine, toutes les phases du cycle de vie du produit, depuis sa conception jusqu'à son retrait, y compris la qualité, les coûts, les délais et les exigences des utilisateurs* » (AFNOR, norme X 50-415).

Mais, la notion de concourance va au-delà de celle d'ingénierie simultanée :

- le fait de nommer un directeur de projet qui organise préalablement le travail séparé de chaque membre de l'équipe et joue le rôle d'intermédiaire, traduit davantage l'idée de concourance que celle d'ingénierie simultanée ; en effet, l'organisation bénéficie moins de la « *capitalisation inter-métiers* » (F. Charue-Duboc, 1997) ;
- les interactions entre les différents spécialistes sont davantage optimisées dans le cadre de la concourance car chacun concourt directement « *à un résultat qui converge vers le même point* » (C. Midler et G. Garel, 1995).

Le point de départ de la réflexion se situe dans les dysfonctionnements graves découverts dans les documentations d'utilisation de certains systèmes d'armements américains, dans les années 80. Sous forme papier, ces documentations étaient très volumineuses. De plus, leur caractère trop souvent redondant et surtout peu évolutif nuisait à leur utilisation. Ce constat a conduit à la valorisation de la phase de conception d'un système. En effet, cette étape offre la possibilité de réfléchir sur la manière d'exploiter un système, d'effectuer sa maintenance et de le faire évoluer.

1. D. Barth, 1998.

L'idée de la concourance est d'assurer une convergence de tous les acteurs vers une direction forte. Pour se faire, l'organisation concourante regroupe au sein d'une *équipe projet* qui réunit les différents métiers, les experts de la R & D, de la production, de la finance, du marketing, de la distribution et même les acteurs extérieurs à l'entreprise (sous-traitants, fournisseurs) afin d'anticiper les différents problèmes qui pourraient se poser lors des phases successives du processus de production. Le directeur de projet a aussi un rôle central. Il anime le débat entre différentes logiques : logique produit, portée par les chercheurs, logique industrielle qui tient compte des montants d'investissements, impératifs d'hygiène industrielle et de qualité, logique commerciale et de l'après-vente, etc. Les processus de conception font appel à des « processus cognitifs » particuliers car susceptibles de combiner les savoirs complémentaires des différents acteurs engagés afin de pouvoir justement anticiper les difficultés. Cela nécessite d'une part, la création d'un lieu où les représentants des différents métiers peuvent se rencontrer physiquement, d'autre part, l'existence de matériels (maquettes, plans, photos...) et de nouvelles démarches de pilotages (refonte du système de planification et du chiffrage économique, évaluation de la qualité, grilles de lectures communes).

## REPÈRES

L'organisation concourante chez Renault SA dans le cadre du processus d'emboutissage automobile constitue un exemple connu<sup>1</sup>. L'emboutissage est l'opération de formage à froid des métaux par déformation permanente d'une feuille de tôle mince, plane et précoupée. Le développement de chaque nouvelle voiture implique l'utilisation de nouveaux outils d'emboutissage donc leur conception, réalisation et fabrication, car le processus d'emboutissage dépend de la taille de la voiture. Cette organisation se fonde sur une remontée en amont des métiers de l'aval (la rencontre se déroule sur un lieu appelé le « plateau ») et sur un accompagnement par l'ensemble des acteurs du déroulement du projet jusqu'à son terme.

Dans le cas de l'emboutissage, l'organisation concourante se traduit par :

- l'établissement d'un contrat de partenariat entre les outilleurs et le constructeur,
- la responsabilité de l'ouilleur sur l'ensemble du lot des pièces impliquées dans un sous-ensemble,
- l'extension du champ d'intervention de l'ouilleur partenaire dès la phase d'étude des outils et jusqu'à l'aval (fonctionnement dans les conditions de série),
- l'instauration d'une communication fréquente entre le partenaire et le donneur d'ordres : réunions physiques sur un plateau des différents métiers autour des maquettes et prototypes.

1. C. Midler, G. Garel, « Concourance, processus cognitifs et régulation économique », *Revue Française de Gestion*, août 1995.

• *Le codéveloppement*

Le codéveloppement est une forme de partenariat vertical entre entreprises qui s'organise dans le cadre d'une démarche concourante (C. Midler, 1993). Il s'agit pour une entreprise d'envisager une gestion du processus d'innovation en coopération étroite avec un ou plusieurs de ses fournisseurs. Cette stratégie de codéveloppement se base en fait sur cinq principes<sup>1</sup> :

- une sélection précoce du fournisseur (dès les premières études exploratoires) sur des critères stratégiques afin d'assurer une coopération pendant toute la durée du développement,
- une extension du champ d'intervention du fournisseur (il porte sur la conception technique, la spécification du processus, les procédures de validation...),
- l'engagement du fournisseur sur une responsabilité de résultat global mesuré en termes de qualité, coûts et délais,
- une communication étroite, continue entre client et fournisseur, et un souci permanent de transparence,
- une intégration de la logique économique et de la logique technique : la négociation économique est intégrée au processus de production pendant toute la conception, et la rémunération du fournisseur est effectuée suivant ses propres réalisations.

Le codéveloppement permet d'allonger la phase d'étude et de raccourcir la phase de réalisation. En effet, en commençant plus tard le projet, il aboutit rapidement car les problèmes ont souvent fait l'objet d'un traitement par anticipation. Le codéveloppement permet aussi d'obtenir, par rapport à de la sous-traitance traditionnelle par exemple, une situation gagnant-gagnant pour le fournisseur et le client<sup>2</sup>. La performance liée à ce type de coopération résulte d'une part de la compétence des fournisseurs. Ceux-ci ont développé une compétence d'ingénierie en investissant simultanément dans des ressources humaines (main-d'œuvre jeune et qualifiée), organisationnelles (structure-projet transversale entre métiers) et technologiques (CAO, DAO). Celles-ci leur permettent de dégager des synergies. D'autre part, la durée de la relation favorise la confiance et les phénomènes d'apprentissage. Des routines organisationnelles se mettent alors en place.

Il résulte de ces différentes formes de coopération que l'innovation doit être considérée comme un processus intégrateur dans l'entreprise, recouvrant à la fois une dimension technique, sociale mais aussi temporelle. D'un point de vue organisationnel, ses conséquences sont majeures. En effet, ce nouvel impératif implique une gestion transversale de l'organisation au détriment du cloisonnement prôné par le modèle taylorien-fordien. L'innovation émerge alors d'un flux continu de connais-

1. Pour plus de précisions sur le sujet voir G. Gareil, « Analyse d'une performance de codéveloppement », *Revue Française de Gestion*, mars-avril-mai 1999.

2. Cette affirmation doit cependant être nuancée par le fait qu'existe des disparités dans les résultats tant au niveau des pertes et des gains, qu'entre niveaux de gains, niveau de pertes, entre client et fournisseur et entre fournisseurs.

## REPÈRES

Le secteur automobile illustre parfaitement la mise en œuvre de ce type de démarche. Les constructeurs, qui intégraient dans les années 50 la plus grande partie de leurs métiers, abandonnent à des fournisseurs extérieurs non seulement la production mais aussi des fonctions très stratégiques comme la conception de pièces même complexes. C'est dans le cadre d'une stratégie d'externalisation de ses activités d'outillage, au début des années 90, qu'un grand constructeur généraliste européen (Car) a décidé de pratiquer le codéveloppement avec certains de ses fournisseurs. Celui-ci a permis la réduction de 7 % du coût d'outillage de la phase « amont » (phase d'étude, d'essai et d'élaboration de prototypes). Un système de sous-traitance traditionnelle l'aurait alourdi de 11 %. Le gain est ici lié à la participation des fournisseurs aux plateaux-projets. De même, dans la phase « aval » de réalisation physique des outillages définitifs dans les ateliers des fournisseurs (phase d'usinage et de mise au point), le volume des modifications a fortement chuté. Elles représentaient 49 % du coût estimé des outils du projet traditionnel contre seulement 15 % sur le projet en codéveloppement. Pour l'entreprise Car, le codéveloppement a donc permis de diviser par 3,5 l'investissement en modifications.

sances qui traverse toute l'entreprise et dépasse ses frontières tant à l'amont qu'à l'aval. En prenant progressivement conscience du fait que la coupure entre innovation et apprentissage organisationnel pèse lourdement sur son efficience, et ceci au moment où le rôle de l'expertise va croissant, on comprend alors pourquoi les entreprises mettent en pratique de tels modèles de gestion, intégrateurs pour les différents acteurs de l'entreprise mais aussi pour leur environnement.

### 2.4 La qualité

Si la performance de l'entreprise repose sur sa capacité d'innovation et sur son degré de flexibilité et de réactivité, la qualité constitue aujourd'hui aussi un impératif de production incontournable. Les normes ISO (International Standard Organization) définissent la qualité comme « *l'aptitude d'une entité – service ou produit – à satisfaire les besoins exprimés ou potentiels des utilisateurs* ». La qualité apparaît donc comme la mesure de la correspondance d'un produit ou d'un service avec ses spécifications ou ses normes. Les spécifications peuvent se rapporter à la durée de fonctionnement, aux performances, à la fiabilité, ou à tout autre caractéristique quantifiable objective et mesurable.

La recherche de l'excellence conduit l'entreprise à maîtriser la qualité. Mais la qualité s'impose aussi comme une condition sine qua non de l'intégration de l'entreprise dans le système concurrentiel actuel. En effet, l'entreprise ne peut assurer sa pérennité sur un marché où s'exerce la concurrence par les prix qu'en faisant de la qualité un de ses chevaux de bataille. La qualité n'est donc pas d'un moyen détourné permettant d'échapper à la concurrence par les prix comme c'était le cas

il y a quelques années. C'est au contraire l'arme stratégique indispensable (au même titre que la maîtrise des coûts, des délais, de l'innovation...) pour participer au jeu concurrentiel actuel. La nécessaire conformité du produit ou du service aux spécifications du client que sous-tend la définition ci-dessus s'inscrit donc, dans le cadre d'un environnement mondial, dans une logique *stratégique* de l'entreprise. Il s'agit bien d'un processus global de long terme, visant à assurer la conformité de la production à un standard, sachant que celui-ci n'est pas uniquement de nature technique. C'est d'ailleurs cette perspective stratégique qui conduit aujourd'hui à rompre avec la conception traditionnelle de la qualité et les pratiques de gestion de Taylor (*cf.* chapitre 6). La qualité taylorienne n'est pas déterminée par rapport aux attentes globales des clients, mais par rapport à des directives *locales* émises en interne par le bureau des méthodes et destinées aux ateliers de production.

Désormais, au contraire, cet objectif devient *global* dans le sens où il apparaît à tous les stades de la chaîne productive qui fonctionne avec un stock minimum. En abandonnant une conception restrictive visant à privilégier seulement un aspect technique, elle concerne aujourd'hui non seulement le produit lui-même, mais aussi et surtout l'ensemble des processus de conception, de production... ainsi que les équipements.

La qualité devient l'affaire de tous les acteurs de la production mais aussi des acteurs connexes à l'activité productive elle-même parce que le client est devenu la cible des préoccupations de l'entreprise. Cette conception de la qualité implique donc une gestion des processus de qualité tout au long de la chaîne de valeur, de l'amont à l'aval. De ce fait, la qualité est au même titre que l'innovation ou la flexibilité, un concept intégrateur dans l'entreprise visant à privilégier la gestion des processus opératoires. Elle doit être le résultat d'un processus coordonné de gestion et non uniquement l'apanage de spécialistes.

## Section

## 2

## L'APPRENTISSAGE D'UNE NOUVELLE CULTURE ORGANISATIONNELLE : LE JUSTE-À-TEMPS

Parallèlement à l'influence d'un modèle de production japonais émergeant dans les années 80, les mutations du contexte concurrentiel de l'époque légitiment la recherche d'un nouveau modèle de production en Occident. Les gains de productivité réalisés par les entreprises nippones dans ce nouvel environnement sont éloquentes. Ainsi, alors qu'en 1970 la productivité des industries manufacturières était moindre au Japon qu'en France, en 1980 elle est supérieure de 40 %<sup>1</sup>. Parmi les firmes nippones, une se démarque particulièrement : c'est Toyota. La question de la transférabilité du modèle toyotiste en Occident est donc posée.

1. F. Blondel, 1999.

L'analyse des modalités d'émergence du juste-à-temps et de ses principes directeurs permet de nous éclairer sur la nature du système de production toyotiste (Toyota Production System ou TPS). Une approche plus pratique concernant les instruments du JAT précise ses modalités de mise en œuvre dans l'entreprise.

## 1 Les origines du juste-à-temps en Occident

Face à la précarisation de l'environnement et à la montée de la complexité d'une part, et face à la variabilité croissante de la demande et à ses exigences en terme de délais d'autre part, les entreprises occidentales sont en quête d'une nouvelle logique de production dès le début des années 80. Les critiques adressées au système traditionnel de gestion (MRP) ne font que renforcer – à tort ou à raison – l'idée de l'obsolescence du modèle taylorien. La production juste-à-temps (ou *just in time*) née au milieu du XX<sup>e</sup> siècle au Japon semble constituer une réponse appropriée aux préoccupations de l'entreprise industrielle.

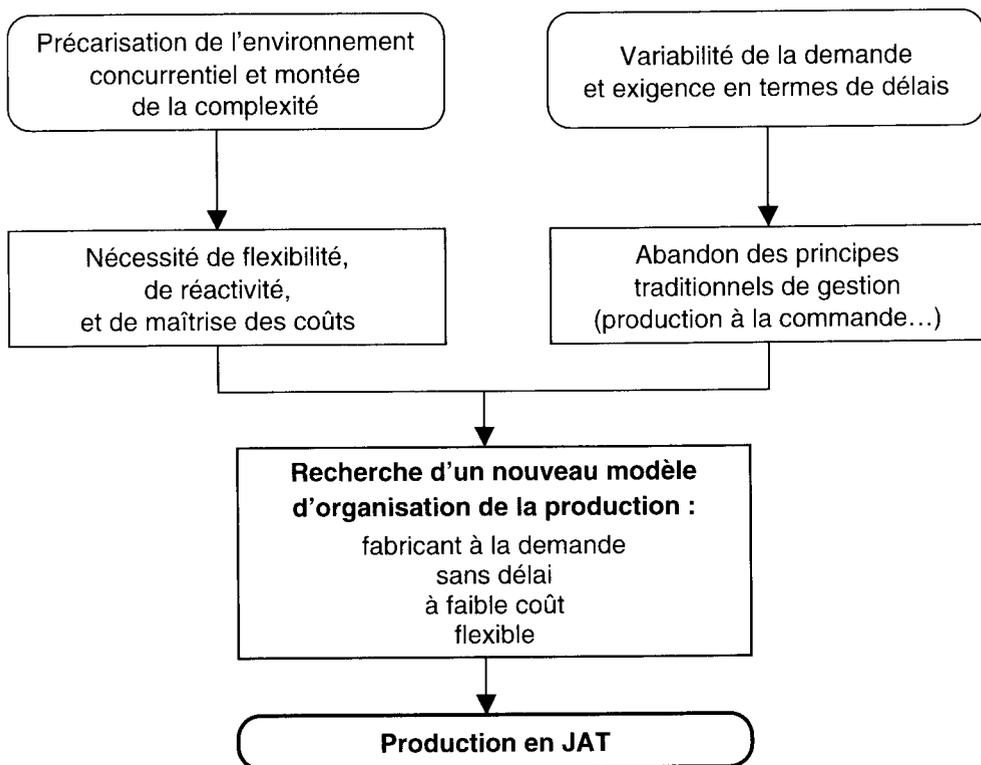


Figure 4.2 : Les origines du JAT

C'est en 1945 que l'on trouve les premières origines du modèle japonais. En effet, à cette époque, alors que le Japon perd la guerre et se trouve dévasté industriellement, l'idée germe chez T. Ohno<sup>1</sup>, directeur de la fabrication chez Toyota et vice-président, de s'inspirer de l'organisation logistique des supermarchés américains pour gérer la production. La particularité de cette organisation résulte du fait que les clients prennent exactement ce dont ils ont besoin, et que les rayons y sont approvisionnés très régulièrement (Tarondeau, 1993). Ohno décide alors d'appliquer cette logique au processus de fabrication dans différents secteurs. Ce sera le cas du textile et de l'automobile. La production en « juste-à-temps » vient de naître, S. Shingo<sup>2</sup> se chargeant largement de vanter les mérites du modèle dans les années 80.

Si dans l'usage courant l'expression juste-à-temps signifie que l'on n'est pas arrivé trop tard (par exemple, lors d'un cours à l'université), en gestion de la production elle n'a pas tout à fait la même signification. Elle insiste surtout sur le fait que l'entreprise ne doit pas disposer du produit *trop tôt*, une production trop anticipée ayant pour conséquence la constitution de stocks. Appliqué à l'ensemble du système logistique de l'entreprise (des fournisseurs à l'amont du processus de fabrication jusqu'à l'expédition des commandes aux clients à l'aval), il s'en suit une baisse conséquente du niveau des stocks (à l'exception des pièces en cours de production). Cela justifie pourquoi on qualifie aussi le JAT de gestion en « flux tendus ».

Cette philosophie de la production rompt avec une démarche occidentale moins soucieuse des problèmes de surproduction, de stockage et de gestion du temps. Elle se traduit concrètement par un élargissement de l'influence de l'aval dans le processus de production. Le JAT est en fait un mode de gestion de la production par l'aval qui se base sur l'application de principes a priori simples et de bon sens. Il s'agit en effet d'acheter ou de produire le bien demandé, dans la quantité souhaitée, au moment voulu, afin qu'il soit disponible à l'emplacement désiré.

Pour rappeler les limites du mode de gestion classique et donc souligner l'intérêt d'adopter une démarche en JAT, il est courant dans la littérature (mais pas toujours très pertinent) de présenter le JAT en l'opposant directement au MRP. Ainsi, la démarche traditionnelle du MRP reposerait sur des flux poussés : c'est l'amont qui pousse le flux de production vers l'aval. Ce sont les prévisions en produits finis, établies par les différents responsables de la commercialisation et de la production, qui conduisent à planifier l'organisation de la production en terme de quantité et de délais. La nouvelle démarche de production mise en place chez Toyota (le TPS) s'organise, elle, dans le cadre d'une logique en flux tirés, l'entreprise ne lançant en fabrication – ou ne livrant – que si le client final en a formulé explicitement la demande, c'est-à-dire le besoin (on qualifie souvent le JAT de système à « flux tirés » par opposition aux flux poussés traditionnels). L'organisation de la production se base donc désormais sur un ordre de commande, sur une demande ferme et non sur des prévisions comme c'était le cas pour le MRP.

---

1. T. Ohno, *L'Esprit Toyota*, Paris, Masson, 1990.

2. S. Shingo, 1986.

## 2 Les principes directeurs

Les principes de gestion de cette nouvelle organisation dépendent en fait de la prise en compte de trois obstacles :

- la capacité d'absorption d'un marché n'est pas extensible,
- les approvisionnements présentent un caractère d'incertitude marqué,
- les ressources (financières, productives mais aussi humaines) dont dispose l'entreprise sont limitées.

Selon Ohno (1990), le TPS peut être considéré comme « *un système de conduite des entreprises industrielles susceptibles de s'appliquer à toute espèce d'entreprise* ». En effet, tous les pays et toutes les entreprises souffrent des mêmes conditions de développement. À partir du moment où l'on pose l'hypothèse que toute ressource est rare donc coûteuse, son exploitation doit être optimale. De même, une lutte contre toutes les formes de gaspillage doit être entreprise. Concrètement, ces principes de gestion se déclinent selon trois volets (cf. figure 4.4) :

- Il faut éviter toute *opération inutile* lors de l'activité de production afin de réduire le coût global de production. La lutte contre le gaspillage trouve ses origines dans le fait que les ressources du Japon en matières premières sont faibles et que ce pays est de petite superficie. La production en juste-à-temps répond à cet impératif de coût, notamment en éliminant les stocks. « *Ce système de production est né dans un environnement japonais parce qu'il ne pouvait probablement pas naître ailleurs* » (Ohno, 1990).

Il est habituel de représenter les principales sources de gaspillage en reprenant l'image de Ohno représentant les récifs qui se trouvent au fond d'un chenal et qui empêchent en principe la navigation. La présence de ces nombreuses sources de gaspillage est facteur de non compétitivité. Elle se traduit notamment par :

- des stocks élevés : la seule solution du gestionnaire de la production avant le développement du JAT consistait à multiplier le niveau des stocks afin d'éviter l'avarie du bateau entreprise,
  - des délais excessifs en particulier lors du changement de série ou d'outil,
  - des retards de livraison,
  - des pièces manquantes et des défauts de qualité,
  - peu de motivation,
  - une mauvaise utilisation des ressources (hommes, matières, locaux, équipements...)
- Si le contexte concurrentiel impose de répondre sans délais à une demande versatile et variée, la *réactivité* du système de production doit constituer une préoccupation majeure. Le cycle de production devient alors la pièce maîtresse de l'organisation en JAT. En effet, pour réagir rapidement aux exigences quantitatives et qualitatives à la demande il faut raccourcir les cycles de fabrication. Ce raccour-

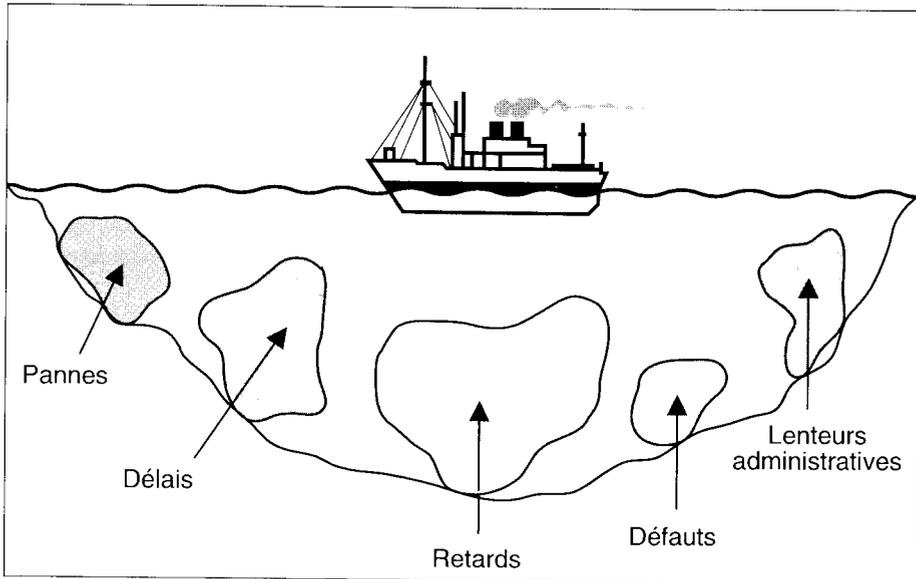


Figure 4.3 : Les principales sources de gaspillage

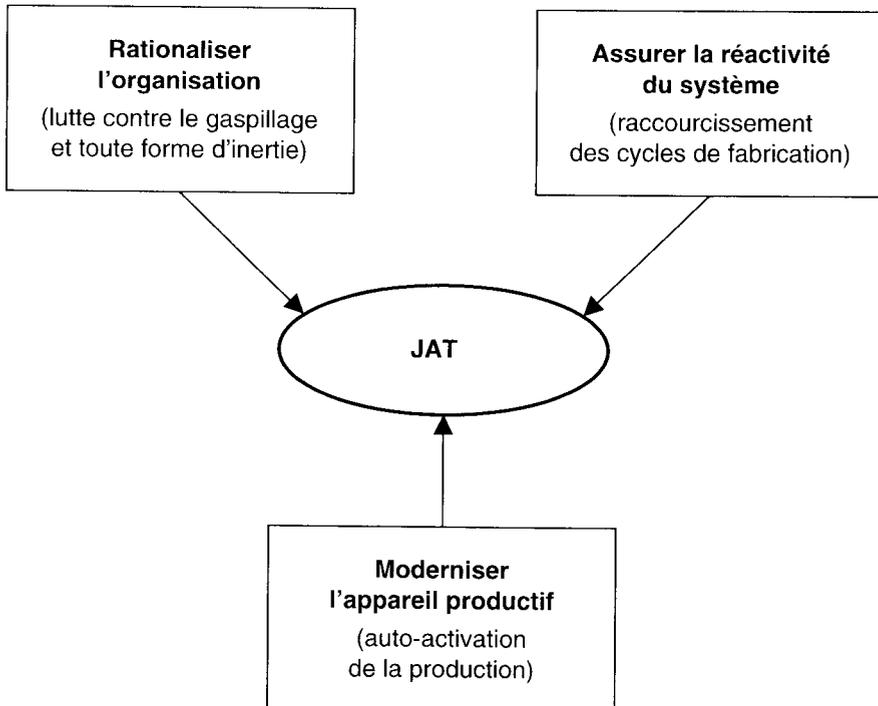


Figure 4.4 : Les principes directeurs de l'activité productive

cissement passe d'abord par la réduction des stocks (stocks de matières premières, d'en-cours et/ou de produits finis). Il implique aussi plus indirectement la recherche des éventuelles défaillances productives sachant qu'elles sont à l'origine de la constitution de stocks. « *Dans cette optique, la réduction des stocks n'est pas un objectif en soi, mais une conséquence de la réduction des cycles* » (G. Baglin, O. Bruel *et alii*, 1996).

- Enfin, parallèlement aux efforts entrepris en matière de rationalisation des flux de production, il est important d'assurer aussi l'*autoactivation* de la production, c'est-à-dire de transférer l'intelligence de l'homme à la machine. Ce transfert implique l'*autonotation* de la machine c'est-à-dire sa capacité à arrêter automatiquement la production en cas d'anomalie. L'avantage de ce système est qu'il ne nécessite pas la présence permanente d'un opérateur auprès de la machine. Mais s'il faut moderniser l'appareil productif, le gestionnaire de la production doit aussi avoir à l'esprit deux éléments. D'une part, il faut veiller à assurer la cohérence entre innovation technologique et innovation socio-organisationnelle. D'autre part, la modernisation de l'appareil productif constitue une condition nécessaire mais non suffisante à la réalisation des objectifs modernes de la production.

### 3 La mise en œuvre des principes du JAT

#### 3.1 Le Toyota Productive System (TPS) : un outil de maîtrise des flux<sup>1</sup>

La mise en pratique des principes du JAT nécessite de faire porter les efforts de l'entreprise sur quatre piliers de l'organisation productive, à l'image du système de production de Toyota. Ces quatre éléments permettent de rationaliser et de maîtriser les flux de production. Ils assurent leur tension tout en minimisant les risques liés à une gestion à flux tirés :

- Le *jidoka* : il s'agit de la « qualité intégrée au système de production ». Le poste aval doit se considérer comme le client du poste amont dans la logique du flux tiré. Cette relation implique de livrer des produits en totale conformité avec les exigences du client. Le contrôle de l'opérateur ou de la machine doit donc être systématiquement intégré au poste de travail lui-même, et, si possible, dès la phase de conception du poste. L'objectif est d'isoler la cause de défaillance et de permettre le découplage des problèmes.
- Le *task time* : c'est le « battement de cœur » de la ligne de production. En fait, il s'agit du temps qui sépare la sortie consécutive de 2 produits finis pour livrer le client en juste-à-temps. Ainsi, imaginons que l'entreprise fabrique 5 000 fours à raison de 1 000 fours par jour pendant 5 jours de la semaine. Si elle dispose d'équipes qui travaillent en 2 × 8 heures soit 15 heures par jour, pauses déduites,

1. J.-C. Dallery, J.-M. Zozac, « Le système de production Toyota, outils de maîtrise des flux », *Revue Annuelle des Arts et Métiers*, 1998.

elle doit fabriquer 67 fours par heure ( $1\ 000/15 = 66,6$ ) soit 1 four toutes les 54 secondes ( $3\ 600/67 = 53,7$ ). Toute l'organisation de la ligne de production en terme d'affectation de ressources en matériel et personnel va s'opérer à partir de ce *task time*. Il convient donc d'assurer la *synchronisation* des flux de production en respectant le « rythme cardiaque » de la ligne de production.

- *L'heijunka* : ce terme japonais traduit le lissage de la production. Il a pour intérêt majeur de limiter les ruptures de stock ou la surproduction grâce à une prévision des variations du besoin des clients. Le principe consiste à diviser les lots de fabrication afin de lancer souvent des productions de petites séries.
- *La standardisation* : les opérateurs doivent normaliser le travail à effectuer. Ce principe part de l'idée qu'un mode opératoire prédéfini permet notamment d'anticiper certaines erreurs, d'accélérer la formation des nouveaux opérateurs, tout en les motivant. Ces modes opératoires sont « glissants » et peuvent être revus en fonction des besoins des clients. Ils participent d'une démarche de planification du travail relativement douce et évolutive.

## **REPÈRES :** TPS et *heijunka* dans la nouvelle usine de Toyota à Onnaing

*« ... le TPS est l'art et la manière d'éliminer les gaspillages de tout genre. L'usine d'Onnaing va en appliquer la substantifique moelle de façon pragmatique en recherchant à tout instant au travers de toutes les actions menées, à optimiser les coûts et la qualité. [...] Toyota applique le heijunka, qui consiste à rechercher le nivellement des charges et du travail. Nivellement au quotidien, par la mise en place de cadences régulières. Nivellement des charges en faisant de tout à tout instant en petites quantités... et ce tant en réception qu'en production ou dans le transport<sup>1</sup>. »*

1. J.-C. Festinger, *Stratégie Logistique*, « 29/01/2001 : Toyota Valenciennes, c'est parti », n° 33, janvier 2001.

### **3.2 Le kaizen : outils de gestion du changement**

Les fondements du JAT, s'ils apparaissent simples car tirés du bon sens, posent souvent des problèmes d'application dans l'entreprise. En effet, en bouleversant les habitudes du personnel, ils supposent des modalités de gestion du changement adéquates. Deux alternatives sont envisageables afin de maîtriser ce changement. Le *reengineering*, d'origine nord-américaine, privilégie une rupture radicale par rapport aux modalités traditionnelles de gestion : il s'agit en fait de tout mettre à plat dans l'entreprise et de tout reconstruire. Selon M. Hammer et J. Champy, le *reengineering* se définit comme « la remise en cause fondamentale et la redéfinition radicale des

*processus opérationnels pour obtenir des gains spectaculaires sur les points critiques que sont aujourd'hui le coût, la qualité, le service et la rapidité ».*

Le courant japonais développe au contraire un mode de gestion du changement de nature continue que l'on qualifie de *kaizen*. Le changement s'opère ici de façon globale et permanente et privilégie la gestion des *processus*. Le *kaizen* trouve ses origines dans la culture japonaise. Elle traduit d'une part l'idée de précarité de toute chose et de volonté constante d'amélioration. D'autre part, une conception très fluide à la fois du temps et de l'espace, conduit en matière de gestion de l'innovation à considérer le temps sous son aspect continue, c'est-à-dire sans possibilité d'y introduire aucune forme de rupture. Ainsi, à partir de ces deux fondements culturels, il est aisé d'envisager une intervention permanente et sans à-coups de l'ensemble du personnel, par la recherche de perfectionnements progressifs et continus (P. Bardelli, 1996).

Le *kaizen* se définit lui-même comme une sorte de « fourre-tout » dans lequel on met un ensemble de techniques qui ont pour objectif une amélioration continue des processus de production représentée notamment par la nouvelle démarche du JAT. En effet, le JAT d'une manière générale et plus particulièrement les outils de lutte contre le gaspillage que sont le TPM, le SMED, les 5 S, le « zéro défaut »... constituent des facteurs d'amélioration et donc s'organisent autour de la notion de *kaizen*. Il s'agit ici de développer de subtiles améliorations en sachant qu'un des aspects majeurs du *kaizen* se trouve dans le fait que chaque acteur d'un processus doit traiter le suivant comme si c'était son « client » (« *jidoka* »). Cette approche vise donc à assurer la réalisation d'un optimum dans la gestion du changement de chaque processus (considéré partiellement autant que faire se peut) même si ce changement ne se traduit pas par une rupture majeure dans le processus de production. On trouve deux fondements à ce courant :

- la première résulte du fait que malgré la qualité des équipements et des méthodes développées par les ingénieurs, on note qu'un important progrès apparaît au moment de la mise en œuvre ;
- deuxièmement, la personne la mieux placée pour proposer des améliorations est souvent celle qui se trouve sur le terrain. Elle mérite donc d'être sérieusement partie prenante au processus.

La démarche *kaizen* nécessite une modification importante du rôle du management. C'est l'application du concept d'*empowerment* qui consiste à donner aux opérateurs le pouvoir de s'organiser et de prendre des décisions nécessaires à la satisfaction de leurs clients internes et externes (cf. Figure 4.5). Les cadres ne se contentent pas seulement de diriger des équipes mais ils animent et entraînent leurs collaborateurs pour atteindre les objectifs que s'est fixés l'entreprise. « *La mission des cadres évolue puisqu'il ne s'agit pas seulement de diriger des équipes mais d'animer et d'entraîner les collaborateurs pour atteindre les objectifs de l'entreprise.* » (X. Perrin, 1998).

La mise en œuvre du *kaizen* nécessite de commencer par revoir les procédures traditionnelles. Il s'agit d'une première *phase de proposition*. L'identification et la résolution des problèmes doivent en effet s'effectuer au sein d'un cadre standard

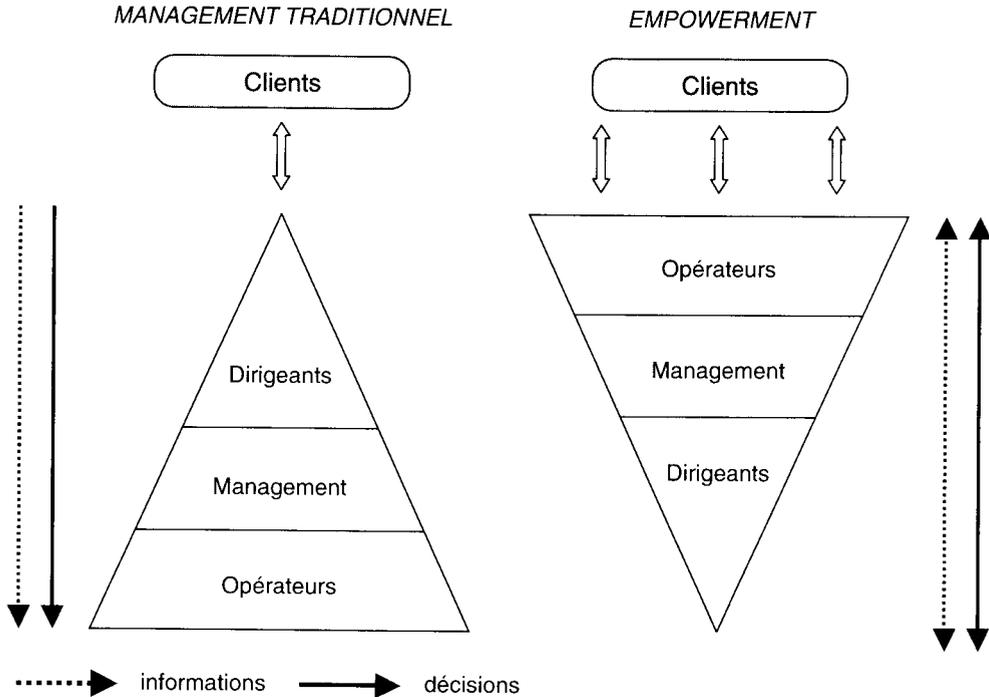


Figure 4.5 : Évolution du management (Source : d'après X. Perrin, 1998.)

## REPÈRES : Investir vs Kaizen<sup>1</sup>

En 1990, une étude a été faite par R. Fukyda dans plusieurs usines du groupe Sumitomo fabriquant des produits en caoutchouc. Celles-ci peuvent améliorer leur productivité soit en investissant soit par une politique de *kaizen*. Une mesure de l'efficacité de ces deux solutions laisse apparaître le résultat suivant : un gain de productivité de 20 à 25 % se dégage soit en pratiquant un investissement de l'ordre de 7 000 dollars par personne et par an, soit en accroissant le nombre de leurs suggestions de 3,5 à 5,5 par personne et par an.

1. Source : G. Baglin et alii, op. cité.

d'amélioration des normes. Revoir les standards suppose de vérifier les performances actuelles et d'estimer comment et avec quels moyens il est possible de les améliorer. Durant cette phase de proposition, les entreprises utilisent complètement le recueil de suggestions individuelles et des propositions de groupe (les *teian* en japonais). Des groupes de travail ou *kaizen workshop* ou « ateliers-

kaizen » sont alors créés. L'atelier-kaizen est constitué d'une équipe pluridisciplinaire d'une dizaine ou une douzaine de personnes affectées à plein temps et pour une durée définie (de quelques jours à deux semaines) à une *mission ponctuelle de progrès* dans l'entreprise. Cette forme de boîte à idée<sup>1</sup> permet à toute personne, quel que soit son rang, de faire connaître des observations et de proposer des améliorations. Celles-ci sont alors évaluées par un comité compétent.

Dans une seconde phase, *la phase de réalisation*, les personnels mettent en œuvre les améliorations proposées. Il peut s'agir d'augmenter l'efficacité des équipements en installant des *poka-yoke*. Les systèmes *poka-yoke* ou systèmes détrompeurs, encore appelés anti-erreurs, permettent d'assurer la prévention de défauts de production lors de la réalisation de gestes simples et fréquents. Ainsi, à partir de moyens peu élaborés – utilisation de couleurs ou d'un taquet – il est alors possible à l'opérateur de s'assurer qu'il a bien vissé à fond une vis. Changer la disposition des machines dans un atelier afin de limiter les déplacements d'en-cours permet aussi de dégager du temps et de libérer les opérateurs pour des tâches créatrices de valeur.

Cette gestion est caractérisée par la nécessaire implication de l'ensemble du personnel de l'entreprise, ce qui conduit à privilégier leur degré de responsabilisation et de motivation au travail. Cela sous-entend la mise en œuvre d'une politique de formation et de communication. Le soutien de chacun de façon permanente et la reconnaissance des efforts accomplis participent aussi de cette démarche d'implication générale. Le plus souvent, l'entreprise ne verse pas de prime (sauf exception), mais elle préfère d'autres modes de reconnaissance de nature non financière. La politique de communication doit être particulièrement bien menée vis-à-vis des agents des méthodes qui doivent trouver leur place, eux dont le métier est justement d'améliorer la performance. La clarté doit aussi prévaloir lorsqu'il y a rejet d'une proposition d'amélioration d'un membre du personnel.

## REPÈRES : Un exemple de démarche Kaizen

Cat Logistics gère depuis 1992 le stock de pièces de rechanges de Rover. L'entreprise s'est trouvée confrontée à une montée en puissance de l'activité sur son site de Metz (51 000 pièces à gérer en 1999 au lieu de 37 000 en 1992). En optant pour la démarche *kaizen*, le centre logistique Metz-I de Cat Logistics a pu tout à la fois augmenter le nombre de pièces en stock et réduire la surface des zones d'emballage. Aucun investissement en matériel n'a été nécessaire. La démarche *kaizen* adoptée privilégie trois volets, choisis après la visite de l'usine de Toyota à Boston :

1. Les suggestions *kaizen* se distinguent des boîtes à idées traditionnelles par deux éléments :
  - elles concernent l'ensemble du personnel alors que les boîtes à idées ne concernent qu'une partie ;
  - elles s'intègrent dans les démarches de progrès de l'entreprise sans court-circuiter le fonctionnement normal du service (G. Baglin *et alii*, 1996).

- l'optimisation des volumes de location par une classification nouvelle des pièces de rechange (pièces petites ou grosses),
- la gestion des flux d'information, notamment des commandes, plus rationnelle (déplacements synchronisés),
- l'implication du personnel forte (*kaizen workshop*).

Grâce à cette méthode, la *dead line* de passation des commandes de la part des concessionnaires autos a été repoussée de 4 heures et 50 % de gains d'espaces servent à absorber l'augmentation du nombre de références en stocks<sup>1</sup>.

---

1. *Logistiques Magazine*, n° 142, novembre 1999.

### ► **Réorganisation des flux et modernisation des équipements : mode d'emploi**

L'application des principes du JAT, qui contribuent à la réalisation des différents objectifs de la gestion de production (en particulier la flexibilité et la variété), conduit souvent l'usine à associer à la rationalisation des flux une modernisation de ses équipements (voir la notion de CIM ou Computer Integrated Manufacturing). Certes, l'automatisation des tâches, la robotisation, le pilotage centralisé par des systèmes informatiques constituent des éléments susceptibles d'assurer la compétitivité de l'entreprise. Mais moderniser l'entreprise c'est d'abord rationaliser ses choix techniques. La modernisation de l'usine doit donc s'orienter prioritairement vers :

- le contrôle de la régularité dans la qualité, obtenue par le contrôle des process (voir le *jidoka*),
- la flexibilité accrue, en termes de délais de conception de nouveaux produits par la Conception assistée par ordinateur (CAO), de délais de fabrication et de réponse à des changements fréquents de la demande par les robots et les automatismes programmables,
- la maîtrise du temps (objectif de réactivité) grâce aux nouvelles technologies de l'information et de la communication tels les réseaux locaux et réseaux de télécommunication externes.

Alors que la complexification des produits et des processus laissent croire à un fort degré de robotisation et d'automatisation de la ligne de production, ce n'est pas toujours le cas dans les faits, même au Japon. L'obtention de la flexibilité et de la productivité par l'informatisation des équipements ne constitue pas toujours un choix obligé pour l'entreprise moderne. De même, la modernisation de l'appareil de production grâce à des investissements de spécialité ne doit pas être systématiquement privilégiée. Le choix du gestionnaire de la production en matière de technologie doit prendre en considération un certain nombre d'éléments :

- la réduction du cycle de vie des produits peut justifier le refus de modernisation de l'appareil productif,

- le degré de variété des produits n'offre parfois pas assez de perspectives d'économies d'échelle pour laisser envisager des investissements massifs,
- le facteur travail reste plus adaptable face aux aléas de la production et dispose d'une capacité à corriger spontanément les anomalies. Le transfert de l'intelligence à la machine peut certes pallier certaines difficultés mais uniquement dans la mesure où celles-ci ont été préalablement anticipées et intégrées au fonctionnement de la machine.

Donc, la simplification des trajets et la polyvalence des opérateurs constituent aussi les clés de la performance industrielle, la modernisation des équipements étant certainement une condition nécessaire mais non suffisante. Il convient donc dans cette logique d'effectuer un savant dosage entre innovation technologique et innovation socio-organisationnelle afin de maintenir une cohérence dans la gestion de l'ensemble des ressources. De plus, la recherche de solutions simples et manuelles au problème de transfert et de traitement de l'information est toujours préférable dès lors qu'elle permet de limiter la complexité d'un système. L'entreprise n'a rien à gagner d'un « acharnement informatique ».

## Section

## 3

## LES INSTRUMENTS DU JAT : LES MOYENS DE LUTTE CONTRE LE GASPILLAGE

Ohno rappelle, en 1990, que pour éliminer les gaspillages (*muda* en japonais), deux éléments s'imposent préalablement :

- atteindre l'excellence en terme d'efficacité du système productif ne constitue un objectif légitime que si cela permet une réduction des coûts. La politique à adopter est donc de ne fabriquer que les produits strictement indispensables. Cette logique de gestion doit s'appliquer dans tous les ateliers et à tous les niveaux de la production ;
- la recherche de l'efficacité implique la mise en œuvre d'une démarche rigoureuse et agrégée qui s'organise en trois étapes. Il faut obtenir dans un premier temps l'efficacité individuelle de chacun des opérateurs sur chacune des lignes de production. Dans un deuxième temps, à un niveau agrégé, c'est l'efficacité du groupe des opérateurs qui doit être recherchée. Enfin, c'est celle de l'ensemble du processus productif (l'usine) qui doit être réalisée. Si l'efficacité locale ne doit bien sûr pas être négligée, c'est surtout l'efficacité globale (celle du tout par rapport aux parties) qui constitue la ligne de conduite. Cela revient à déterminer un optimal global de gestion sachant que la somme des optima locaux n'est pas forcément égale à l'optimum global. L'abandon de la logique de fragmentation et d'agrégation conduit ici à introduire une certaine forme de rupture dans les processus de gestion et à les complexifier.

Il est évident que derrière l'idée de lutte contre le gaspillage se trouve l'idée de maîtrise de la qualité. La gestion de la qualité s'opère à tous les niveaux où il est possible d'identifier des sources de gaspillage. Pour une étude approfondie et spécifique des méthodes de gestion de la qualité nous renvoyons le lecteur au chapitre qui lui est consacré (cf. chapitre 6)<sup>1</sup>. Mais il faut garder en tête qu'éliminer les différentes sources de gaspillage dans l'entreprise (pertes de temps, pannes, mauvaise gestion des aléas et de l'information, litiges avec les intervenants au processus de production...) en utilisant les méthodes de gestion du JAT (TPM, SMED, implantation rationnelle des équipements, *kanban*, gestion par les contraintes, stratégie de partenariat...) constitue déjà un moyen rigoureux de gérer la qualité.

## 1 Le gaspillage provenant des temps d'attente

Si la gestion stratégique du temps s'impose de façon évidente dans le nouveau système de production, elle ne doit cependant pas aboutir à des abus. Ainsi, le fait de considérer qu'une ressource inoccupée pendant un certain temps est forcément synonyme de gaspillage constitue une erreur de gestion. La démarche du gestionnaire doit résulter d'une analyse fine, critique et rigoureuse des sources de gaspillage. Mais il est aussi des situations où les temps d'attente se traduisent par un véritable gaspillage : défaut de maintenance, changements de séries trop long. Si les défaillances des équipements sont combattues par la TPM, les problèmes liés aux changements de séries sont progressivement éliminés à l'aide de la méthode SMED. Enfin, une gestion rigoureuse des aléas permet aussi de répondre à l'impératif stratégique de gestion du temps.

### 1.1 La Total Productive Maintenance (TPM) : la maîtrise des équipements

#### ► *Définitions de la maintenance*

Dans une démarche en JAT, il n'est pas possible de limiter la maintenance à une maintenance de nature *accidentelle* ou *curative* visant uniquement à réparer les équipements défaillants. En effet, même le matériel le mieux conçu n'est pas à l'abri d'une panne, sachant que celle-ci peut aussi provenir de la façon dont l'équipement est utilisé par l'homme. Ainsi, la réduction du taux de panne, et donc les gains de temps qu'elle engendre, implique la mise en place d'une maintenance de nature *préventive*.

La maintenance corrective devant être réduite au maximum dans le JAT, la démarche préventive s'organise alors autour de deux logiques alternatives qui sont la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle :

- la *maintenance systématique* impose le changement des pièces d'une machine à périodes fixes, quelle que soit l'utilisation qui a été faite de l'équipement. Par exem-

1. En effet, la dimension centrale revêtue par ce concept aujourd'hui nécessite que nous y consacrons un chapitre dans son intégralité.

ple, une pièce sera changée tous les 5 000 produits, ou tous les 20 jours d'utilisation. Ces données sont obtenues à partir de statistiques effectuées sur la base du fonctionnement antérieur. À partir de ces statistiques, des temps moyens de bon fonctionnement entre deux pannes (ou MTBF : Mean Time Between Failures) peuvent être calculés ;

- la *maintenance conditionnelle* ou prédictive suppose un suivi régulier de l'usage fait de l'équipement, de façon à n'en changer les pièces que lorsque leur intensité d'utilisation le justifie. Le suivi régulier de l'état de l'équipement est basé sur des procédures de test de nature empirique ou bien incorporées dans la machine. Ainsi, des capteurs de vibrations, des détecteurs d'usure... permettent d'anticiper le remplacement de certaines pièces avant qu'elles ne cèdent. Ce type de maintenance présente l'avantage d'éviter les changements de pièces superflus.

► ***La TPM d'un point de vue théorique ou la recherche d'un indicateur global de la rentabilité des machines***

La TPM est née du besoin d'améliorer le rendement des machines. Or, selon l'indicateur de rendement choisi, on peut se satisfaire d'une situation apparemment correcte, mais qui ne représente pas le rendement réel. L'utilisation du « taux de marche calendaire » constitue une bonne illustration de cette fallacieuse interprétation. Le taux de marche est le rapport du temps de fonctionnement de la machine au temps d'ouverture de l'atelier. Si l'ouverture de l'atelier est de 7 heures quotidiennes et que la machine fonctionne 6 heures (une heure étant nécessaire aux diverses opérations non productives) le taux de marche est de  $(6/7) \times 100 = 85,7 \%$ , ce qui peut paraître correct mais ne l'est pas en réalité...

En effet, une machine ne fonctionne pas pendant toute la durée d'ouverture d'un atelier. L'opérateur doit effectuer des opérations qui engendrent des phases non productives tels que le préchauffage, les changements de séries, les rechargements de la machine, ou bien encore la maintenance. Des aléas comme des pannes viennent aussi affecter le fonctionnement de la machine. Enfin, une dernière perte de temps apparaît si l'on étudie le taux de rebut de la machine. On a donc ici un certain nombre de variables qu'il convient d'intégrer lors du calcul du temps de fonctionnement véritablement utile de l'équipement. En conséquence, si l'on se limite à un indicateur très général de productivité comme celui du taux de marche calendaire des machines, on ne dispose pas d'une représentation fidèle du niveau de productivité d'un équipement.

Pour connaître avec précision le rendement de la machine et mener sur cette base des actions d'amélioration, un niveau supérieur de détail est requis. Afin de répondre à cet impératif, le JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) a développé en 1970 une approche originale qualifiée alors de Total Productive Maintenance ou TPM (traduit par maintenance productive totale). Le principe de la maintenance totale ne constitue pas une technique révolutionnaire de maintenance, mais il s'assimile à une « démarche globale de management des équipements afin d'améliorer les performances

*industrielles* » (P. Pontier, 1998). En fait, la TPM ne change rien à la maintenance classique sur le fond, mais elle redéfinit la forme que celle-ci devrait prendre.

La TPM implique l'augmentation des performances de l'ensemble des ressources productives et des outputs, ainsi que du rendement global des équipements. Cette amélioration continue demande l'adhésion de tout le personnel de l'entreprise. Elle vise à remédier activement aux pertes d'efficacité de nature organisationnelle (difficultés engendrées par le fournisseur ou le sous-traitant, erreurs de planification, manque de personnel ou personnel inadapté...), mais aussi d'ordre technique (pannes, ralentissements...), ou bien encore liées à la qualité (rebuts, retouches...). Elle repose sur le calcul d'un *indicateur global* qui intègre toutes les composantes du rendement machine et permet donc de disposer d'informations fiables. Le *taux de rendement global* mesure le rapport entre la quantité de pièces produites (répondant aux normes de qualité) et la quantité de pièces qui auraient dû être produite si le processus avait fonctionné sans interruption d'aucune sorte.

Temps d'ouverture de l'équipement ou Temps requis (TO)				
Temps des arrêts identifiés		Temps brut de fonctionnement (TBF)		
Pannes	Changements de série			
		Durée des ralentissements		Temps net de fonctionnement (TNF)
		Micro-arrêts	Régime anormal	
				Temps utile ou temps de marche efficace (TU)
		Temps de production des pièces défectueuses		
		En régime de croisière	En régime transitoire	

Figure 4.6 : Modalité de calcul du temps de fonctionnement utile de la machine

Finalement, on est conduit à présenter un *indicateur synthétique*, qui tient compte des trois catégories d'inefficacité qui réduisent la productivité d'un équipement, et que nous venons de mettre en évidence (arrêts identifiés, ralentissements divers, défauts). Cet indicateur porte plusieurs noms : *Taux de rendement global* ( $T_{RG}$ ) pour certains ou *Taux de rendement synthétique* ( $T_{RS}$ ) pour d'autres. On peut le calculer de plusieurs façons, soit à l'aide d'un enchaînement de ratios, soit plus simplement en considérant qu'il est égal à la production effective divisée par le nombre total de

pièces qui *auraient dû* être produites pendant le temps d'ouverture sur la base de la cadence théorique (N) :

$$T_{RS} = \frac{P - Def}{N}$$

Ce premier mode de calcul ne permet pas de mettre en évidence les différentes causes d'inefficacité, c'est pourquoi il nous semble préférable de décomposer le  $T_{RS}$  en facteurs simples.

On définit le *taux brut de fonctionnement* de la machine, qui traduit l'influence des arrêts identifiés sur :

$$T_{bf} = \frac{\text{Temps d'ouverture} - \text{Temps des arrêts}}{\text{Temps d'ouverture}} = \frac{TBF}{TO}$$

On définit le *taux net de fonctionnement* de la machine :

$$T_{nf} = \frac{\text{Production réalisée} \times \text{Temps de cycle réel}}{\text{Temps d'ouverture} - \text{Temps des arrêts}} = \frac{P \times TCR}{TBF}$$

Le *temps de cycle réel* correspond simplement à la durée réelle de fabrication d'une pièce (dans l'unité appropriée), alors que le temps de cycle théorique se base sur la durée supposée de fabrication d'une pièce.

La dégradation de la cadence de la machine par rapport à son régime de croisière (dit régime nominal) est mesurée par le ratio R. Il faut être attentif au fait que plus le rendement de la machine se dégrade, plus le temps de cycle réel augmente par rapport à sa valeur théorique ; le ratio R diminue alors. Dans les entreprises, il est rare que la cadence réelle soit égale à la cadence nominale.

$$R = \frac{\text{Temps de cycle théorique}}{\text{Temps de cycle réel}} = \frac{TCT}{TCR}$$

Le produit du taux net de fonctionnement et du ratio R fournit un indicateur appelé *taux de performance*<sup>1</sup> ; il fait apparaître l'influence des ralentissements et des micro-arrêts, c'est-à-dire l'influence d'une cadence globalement inférieure à la cadence supposée.

$$T_p = \frac{P \times TCR}{TBF} \times \frac{TCT}{TCR} = \frac{P \times TCT}{TBF}$$

1. Le vocabulaire ne semble pas totalement stabilisé puisque certains spécialistes appellent taux net de fonctionnement ce que nous avons appelé taux de performance.

Enfin, il faut considérer l'influence de la non-qualité, puisque l'existence de produits défectueux (Def) réduit le nombre des produits pouvant être vendus ; elle se matérialise par un *taux de qualité* :

$$T_q = \frac{\text{Production réalisée} - \text{Produits défectueux}}{\text{Production réalisée}} = \frac{P - \text{Def}}{P}$$

Finalement, on obtient le  $T_{RS}$  :

$$T_{RS} = T_{bf} \times T_p \times T_q \Leftrightarrow T_{RS} = \frac{TBF}{TO} \times \frac{P \times TCT}{TBF} \times \frac{P - \text{Def}}{P} = \frac{P - \text{Def}}{TO} \times TCT$$

► ***La TPM d'un point de vue pratique  
ou la recherche de l'efficience globale des équipements***

La TPM consiste à prendre en compte de manière globale toutes les actions de maintenance industrielle et ce tout au long du processus de production. L'objectif est de rechercher et de lutter activement contre les causes d'indisponibilité des machines. Concrètement, il s'agit de limiter leur temps d'arrêt lors des pannes et d'assurer la fluidité parfaite du processus de production.

En fait, comme son nom l'indique, la TPM recouvre trois aspects :

- maintenir en bon état général de fonctionnement les équipements : il s'agit là de l'aspect « maintenance » illustré à travers les opérations de nettoyage, d'entretien (vérification de niveaux, contrôle du degré d'usure, graissage) et de réparation,
- la maintenance des machines doit se combiner avec la nécessaire performance de l'activité, d'où l'utilisation du terme « productive »,
- enfin, la référence au concept de « totalité » suppose, d'une part, que tous les aspects « fonctionnels » de la maintenance soient considérés (de l'entretien simple et quotidien du lieu de travail avec un aspirateur et un chiffon, aux opérations plus lourdes et plus ponctuelles consistant à changer une pièce défectueuse ou à la réparer). D'autre part, tous les acteurs de l'entreprise doivent être associés à la TPM.

La TPM s'inscrit dans une démarche de nature stratégique. Il ne s'agit donc pas de l'assimiler à un simple projet. Un raisonnement mené en terme d'opportunité permet de comprendre que toute perte est en fait un bénéfice potentiel qui échappe à l'entreprise. Éliminer les pertes dans le cadre de la TPM constitue donc un gain. Ainsi, dans les entreprises où ce type de projet été mis en œuvre, il s'est concrétisé par un gain de productivité moyen de 30 % dans l'année qui a suivi. L'application de la TPM dans l'entreprise passe notamment par l'adoption d'une démarche globale et continue visant à la réalisation d'un double objectif :

- déterminer précisément ce qui se passe lors du dysfonctionnement d'une machine afin d'en éliminer la cause. Cette phase d'analyse s'élabore à partir d'une situation optimale de référence permettant d'identifier les principales pertes qui limitent la

performance. Les recherches s'orientent alors vers deux directions complémentaires :

- une direction technique : les pertes du  $T_{RG}$  sont dues principalement à des anomalies provoquées par les techniciens de la maintenance et les opérateurs ;
  - une direction socio-organisationnelle : les pertes du  $T_{RG}$  sont aussi liées à des défaillances de l'encadrement (P. Pontier, 1998).
- lutter contre les défaillances les plus répétitives afin de limiter leur fréquence. Il s'agit là d'une phase d'amélioration qui repose sur l'usage de la méthode SMED et sur les notions d'auto-maintenance et d'auto-inspection.

Tableau 4.2 : Les cinq S : principes de base<sup>1</sup>

Les 5S	Traduction littérale	Application dans l'entreprise
Seiri	Ranger	S'organiser, c'est-à-dire trier, enlever l'inutile et garder le strict nécessaire sur le poste de travail Exemple : un système de classification du type ABC permet de distinguer ce qui est d'usage quotidien = A, hebdomadaire = B et rarissime = C
Seiton	Mettre en ordre	Situer les choses, c'est-à-dire arranger, minimiser les recherches inutiles Exemple : disposer les objets utiles sur un panneau d'outils de façon fonctionnelle et s'astreindre à remettre à sa place chaque outil, définir les règles de rangement sur le panneau...
Seiso	Nettoyer	Scintiller, c'est-à-dire nettoyer très régulièrement le poste de travail et son environnement afin de permettre une détection plus rapide des défaillances Exemple : définir des objectifs au sein de l'atelier après l'avoir découpé en zones, identifier les causes de salissure, déterminer la fréquence de nettoyage...
Seiketsu	Standardiser	Formaliser : afin que les trois S précédents soient respectés, il faut les inscrire comme des règles ordinaires à suivre, c'est-à-dire comme des standards Cette formalisation passe par la participation du personnel afin qu'il s'approprie le projet 5S. Exemple : affichage des objectifs et des résultats, effort de communication permanent entre responsables du projet 5S et acteurs sur le terrain...
Shitsuke	Suivre	Surveiller : pour obtenir les 4 S précédents, il faut assurer un suivi régulier de leur application et en corriger les dérives. L'implication des acteurs est nécessaire Exemple : création d'équipes de contrôle effectuant un suivi régulier, mise en place de méthodes d'auto-évaluation sur la base de fiches d'évaluation chiffrées, audits, affichage des résultats

1. Tableau élaboré d'après [http://www.multimania.com/hconline/engineer\\_fr.htm](http://www.multimania.com/hconline/engineer_fr.htm).

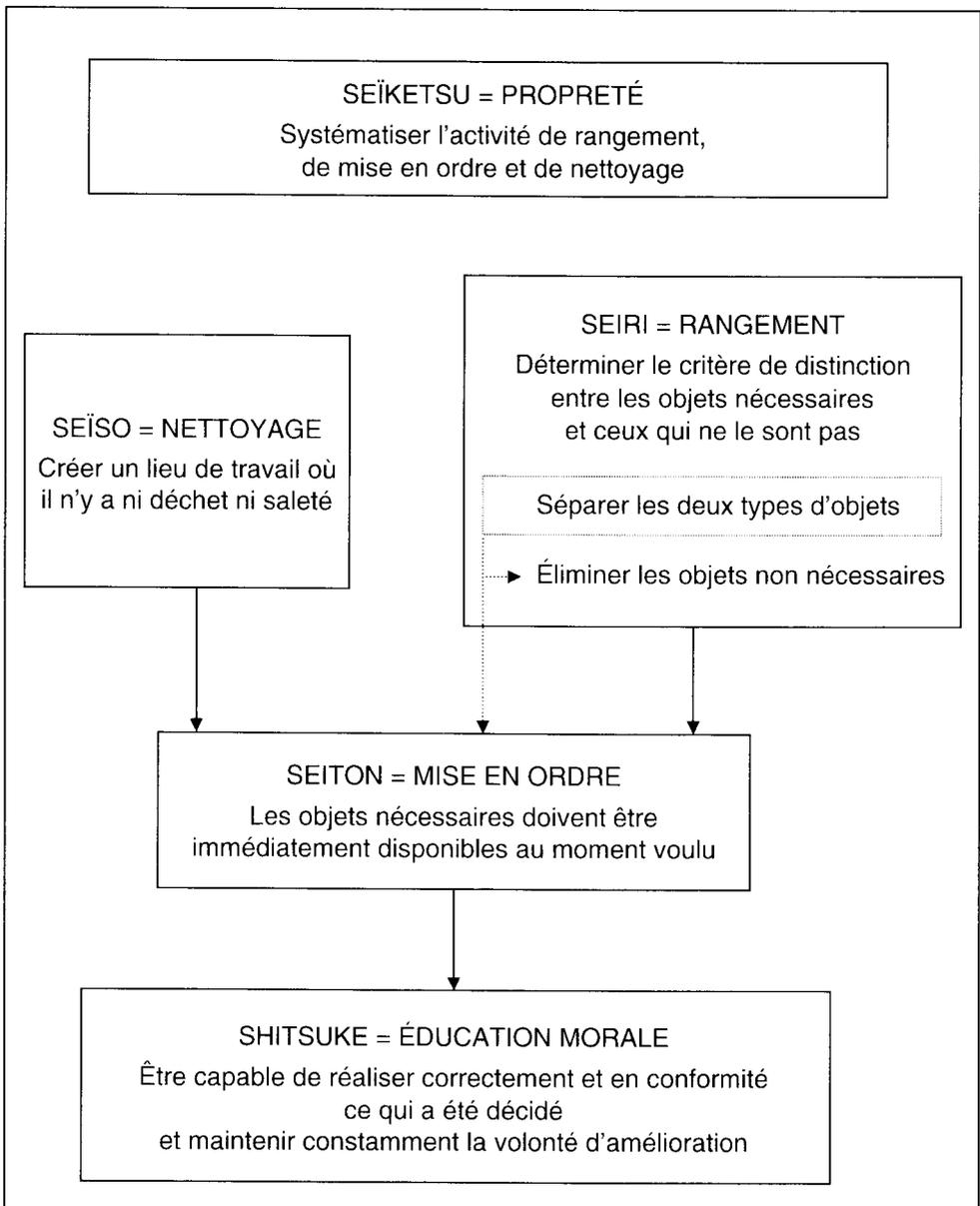


Figure 4.7 : Mise en œuvre d'une campagne de 5S

## REPÈRES : Le CNL-PR d'Estrées-Saint-Denis (Groupe Ford France) applique la méthode 5S (suite du Repères de la page 137)

L'entreprise qualifie cette méthode de « *Méthode de management simple et efficace* ». Les notions d'efficacité et de simplicité figurent sur la page de couverture du petit livret que Ford distribue à chaque salarié afin de les familiariser avec cet objectif. Ce livret est de très petite taille de façon à pouvoir être facilement manipulable (il peut être contenu dans la poche d'une veste). Chaque page est plastifiée. Il est très coloré et les termes importants sont imprimés en couleur vive. Il est construit de façon très pédagogique puisqu'il s'appuie sur des explications littéraires simples, auxquelles s'ajoutent des dessins humoristiques (de type dessins de bandes dessinées). Chaque dessin reprend l'idée générale de chaque étape.

En deuxième page figure la définition de la méthode 5S. Il s'agit d'une « *Technique de Management qui permet d'introduire ordre et rigueur dans l'Entreprise. C'est un outil essentiel pour amorcer une démarche Qualité Totale* ». L'objectif de Ford est donc clairement affiché. Il s'agit de mettre cet outil au service d'un projet bien plus vaste : la TQM. L'esprit de la méthode 5S est bien compris par Ford puisqu'elle ne trouve sa légitimité qu'incluse dans une démarche de gestion totale de la qualité. Les 5S ne constituent donc pas une fin en soi.

La troisième page reprend les termes japonais correspondant aux différentes étapes. Celles-ci seront développées dans les pages suivantes au rythme d'une étape par page (les termes japonais ne sont plus utilisés : par souci de pédagogie, les traductions françaises sont préférées).

1 – « *Le Débarras* : La première opération a pour but de *trier, enlever l'inutile et hiérarchiser les éléments de travail, matériels ou immatériels*. Chez Ford, il s'agit de *lutter contre l'accumulation*. »

2 – « *Le Rangement* : *Une place pour chaque chose et chaque chose à sa place*. Il s'agit d'aménager les moyens de façon à « *éviter les pertes de temps et d'énergie*. » Une représentation graphique illustrant un réveil en train de sonner violemment permet de repérer rapidement la nature de cette étape.

3 – « *Le Nettoyage* : Chez Ford Le *non respect de la propreté* peut avoir des conséquences considérables en provoquant des *anomalies* ou l'*immobilisation* de machines. Le but de cette opération revêt un double aspect : *préventif* c'est-à-dire *ne pas salir et correctif* ce qui suppose, non seulement de *nettoyer*, mais aussi *d'inspecter*. »

4 – « *L'Ordre* : Cette opération *consolide* les précédentes chez Ford. L'ordre marque le *respect* de chacun pour son environnement immédiat. Concrètement, cela suppose des *aménagement créatifs et concrets*. Le management visuel devient une méthode très utile chez Ford. »

5 – « *La Rigueur* : C'est la règle la plus *importante* des 5S. Elle est du ressort de la *hiérarchie* qui doit :

- *pérenniser l'effort accompli* pour aménager les postes de travail,
- *susciter des habitudes* et développer un véritable *état d'esprit*,
- encourager le personnel à *adhérer aux règles*.

La rigueur se développe pour Ford autour de deux axes importants :

- un contrôle continu au travers des *vérifications fiables*,
- une communication dynamique. »

Chez Ford, « le résultat se mesure autant en *productivité*, qu'en *satisfaction* du personnel en regard des efforts faits pour améliorer les conditions de travail. »

Le livret se termine sur deux séries de photos prises dans une zone de l'entreprise avant l'application des 5S et après. La comparaison est éloquent.

Les utilisateurs des équipements, les opérateurs, doivent être étroitement associés à la maintenance en entretenant eux-mêmes les équipements, en prenant en charge quelques réparations simples... L'aspect collectif de la TPM s'illustre dans la nécessaire application pour tous les membres du personnel de la *règle des 5S* de Nakajima. Les 5S constituent les préliminaires à tout projet d'amélioration. Ils se révèlent à l'usage remarquablement efficaces parce qu'ils transforment physiquement l'environnement du poste de travail et qu'ils agissent profondément sur l'état d'esprit du personnel, tous niveaux hiérarchiques confondus. Pour cela, il faut adopter 5 règles générales de gestion en s'efforçant de respecter l'ordre dans lequel elles sont énoncées. Les 5S sont les 5 initiales de mots japonais :

- *Seiri* = rangement,
- *Seiton* = mise en ordre, méthode,
- *Seiso* = nettoyage,
- *Seiketsu* = propreté, netteté,
- *Shitsuke* = éducation morale, discipline.

Concrètement dans l'entreprise, la campagne 5S peut être mise en œuvre comme indiqué par la figure 4.7<sup>1</sup>.

Quelques remarques très générales permettent de préciser les conditions d'application des 5S qui malgré leur évidence constituent en fait un système d'amélioration d'une fallacieuse simplicité :

- la mise en place des 5S doit être graduelle et respecter nécessairement l'ordre général défini : *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke* ;
- il faut préférer les actions rapides et précises à la formulation d'idées générales ;
- les 5S s'adressent à tout le monde : si la hiérarchie ne s'astreint pas à suivre ces règles, les subordonnés ne le feront pas eux-mêmes.

---

1. A. Courtois, C. Martin-Bonnefous et M. Pillet, 1996. Cette représentation constitue la traduction littérale d'une affiche vue à plusieurs reprises dans les usines japonaises mettant en œuvre les 5S.

## 1.2 Le SMED ou l'amélioration des temps de changement de série

### ► *Problématique et définition*

Toujours dans le cadre d'une logique de TPM, et plus largement en vertu de l'impératif de gestion stratégique du temps, le changement rapide d'outils ou de séries devient une préoccupation majeure du gestionnaire de la production. Ici la notion de « gestion du temps » apparaît sous le concept de gestion des délais. Le terme de délai correspond à la durée qui sépare deux séries de production différentes. En JAT, cette durée doit être la plus brève possible. En effet, la réduction de la taille des lots et la capacité de réaction aux demandes du marché rendent impératif la maîtrise des changements rapides de séries.

Si cet impératif n'est pas respecté, une solution très tentante peut consister à fabriquer des lots importants de pièces standards de façon à minimiser ces pertes de temps. Or, cette situation n'est pas satisfaisante en terme de productivité car elle entraîne inévitablement la formation de stocks, donc des frais de stockage. De plus, les produits stockés sont souvent menacés d'obsolescence ce qui se traduit inévitablement par la perte de la vente. Pour S. Shingo, il est cependant possible de dégager des heures productives – donc un gain – en maîtrisant la durée nécessaire au changement d'outil. L'idée est de réduire la durée des interventions interopératoires. Il propose pour cela une méthode originale<sup>1</sup> : le Single Minute Exchange of Die (SMED) que l'on traduit par échange d'outil en moins de 10 minutes. *Single minute* signifie en fait que le temps en minutes nécessaire à l'échange doit se compter avec un seul chiffre. Le SMED est une « *méthode d'organisation qui cherche à réduire de façon systématique le temps de changement de séries à partir d'un objectif quantifié* » (norme AFNOR NF X50-310).

Le SMED repose sur la distinction entre trois types d'opérations :

- les opérations inutiles : elles entraînent des pertes de temps qu'il faut éliminer ;
- les *opérations internes* (ou IED pour Input Exchange Die) : elles nécessitent l'arrêt complet de la machine pour pouvoir être effectuées. Elles concernent par exemple les changements de fixation, les réglages de base... ;
- les *opérations externes* (ou OED pour Output Exchange Die) : on peut les effectuer alors que l'équipement fonctionne ; elles sont alors réalisées en temps masqué. Elles consistent notamment à rapprocher les matières de la machine, à préparer les pièces à changer ou bien les outils nécessaires à ces changements...

L'idée générale du SMED est de supprimer toutes les opérations inutiles et de convertir les opérations internes en opérations externes afin de limiter les temps d'arrêt de la machine. La démarche à adopter par l'entreprise peut être résumée en quatre étapes majeures. Une étape préliminaire consistant à impliquer tous les intervenants afin de les sensibiliser à l'effort entrepris s'impose cependant comme un préalable.

1. On notera que le principe SMED est à la fois récent et ancien : récent car il a été mis au point dans les années 80, ancien car il s'inspire directement des méthodes de l'OST, notamment de l'étude des temps et des mouvements.

- *Étape n°1* : Analyser un changement de fabrication tel qu'il est pratiqué dans l'entreprise. Cette étape implique de collecter certain nombre d'informations concernant notamment la durée de changement initiale, la méthode traditionnellement utilisée ainsi que les équipements et les outils. La réalisation d'un film vidéo détaillant la chronologie exacte des opérations constitue un bon support de travail. Le chronométrage des différentes étapes du changement et des opérations permet aussi de disposer d'informations pertinentes. Il est probable que cette phase d'analyse révèle la nécessité de mettre en œuvre les 5S. Cette première étape est généralement très peu coûteuse tout en permettant une amélioration sensible des résultats.
- *Étape n°2* : Identifier les opérations internes et les opérations externes. Il s'agit de rechercher les gains de temps qui peuvent se dégager grâce au temps masqué. Selon P. Pontier (1998), il n'est pas rare de constater à l'issue de ces deux phases un gain de 30 à 50 % sur le temps d'arrêt de production.
- *Étape n°3* : Transformer les opérations internes en opérations externes, ce qui nécessite souvent des investissements. Par exemple, des composants liquides jusque-là préchauffés et mélangés par la machine peuvent l'être en avance en utilisant un autre équipement. La machine est alors alimentée directement, le mélange étant déjà disponible à la bonne température. Il n'y a pas de perte de temps liée au mélange ni au préchauffage. Cette étape peut être délicate à mettre en œuvre car la conversion n'est pas toujours aisée et elle peut aussi s'avérer coûteuse pour l'entreprise.
- *Étape n°4* : Rechercher la réduction du temps d'exécution des opérations tant internes qu'externes en les rationalisant :
  - il s'agit en fait de simplifier des gestes simples dont la réalisation demande du temps (par exemple opérer des réglages ou des fixations). Concrètement, cela se traduit par leur suppression partielle ou totale, par la minimisation des mouvements (en particulier lorsqu'il s'agit de tourner ce qui nécessite de prendre et de lâcher à plusieurs reprises), par la normalisation de l'outillage (unification des types de vis, de la taille des écrous). Cette dernière étape n'est pas forcément onéreuse ;
  - il s'agit aussi de prévoir les conditions des réglages en fixant des valeurs indicatives, en privilégiant des méthodes sans réglage (cales ou butées fixes).

► ***Les résultats du SMED et ses conditions d'application***

Les résultats obtenus grâce à cette méthode sont souvent importants. En effet, si les différentes étapes sont bien menées et si les opérateurs sont impliqués, les temps de changement peuvent être fortement diminués. L'exemple de l'usine Citroën et de Brown Boveri en constitue une bonne illustration. Ces résultats sont significatifs à double titre dans la mesure où d'une part, dégager du temps utile pour une machine ou un process permet d'améliorer son rendement, mais d'autre part, cela peut aussi permettre de retarder voire de reconsidérer un projet d'investissement de capacité.

Tableau 4.3 : Réduction des temps de changement d'outils chez Citroën et Brown Boveri  
(Source : P. Béranger, 1995)

Type de machine	Temps avant (minutes)	Temps après (minutes)	Gain (%)	Coût de la modification (KF)
Presse d'emboutissage Weigarten	285	22	92	60
Tour multibroches Bullard	40	10	75	1
Presse de moulage caoutchouc Desma	120	15	87	30
Four de fusion de fonte Brown Boveri	180	60	66	41
Ligne d'emboutissage pour l'automobile composée de 6 presses Spiertz	130	26	80	107

L'objectif final du SMED vise à opérer un changement d'outil en un seul geste : le *one touch up*. De même, un approfondissement de ce type de méthode consiste à remplacer le SMED par la méthode NTED ou No Touch Exchange of Die : il s'agit de réaliser des changements de durée quasi-nulle sans intervention humaine. Mais pour cela, le SMED doit se réaliser dans un esprit d'amélioration continue au sein de l'entreprise (*cf.* le *kaizen*) et doit aussi fréquemment être associé à la recherche des 5S.

Si un bilan très positif se dégage de la mise en œuvre de cette démarche dans l'entreprise, il est toutefois important de remarquer que dans certains cas le SMED ne présente pas d'intérêt. La théorie des contraintes nous aide à comprendre pourquoi. Ainsi, appliquer le SMED à des ressources non-goulots (par opposition aux ressources goulots) ne se justifie pas. En effet, d'une part, ces ressources ont par nature des capacités excédentaires. Elles peuvent donc se permettre de « perdre du temps » à changer d'outils sans que cela affecte leur productivité. D'autre part, appliquer le SMED signifie que l'on veut augmenter la capacité des ressources en question. Or, les ressources non-goulots n'en ont pas besoin puisqu'elles disposent déjà par définition de capacités excédentaires. Enfin, sachant que le SMED implique des investissements en terme de moyens financiers, techniques et humains, les affecter aux ressources non-goulots c'est en priver les ressources goulots.

### 1.3 La maîtrise des aléas : l'AMDEC

La gestion des aléas qui participe à une conception stratégique de la gestion du temps et de la technologie constitue à ce titre une préoccupation majeure de l'entreprise moderne. Parmi les différentes méthodes qui président à la maîtrise des aléas, l'AMDEC ou Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticité est un outil bien connu, notamment dans le secteur de l'automobile. Le principe de base de l'AMDEC est de mettre en évidence le plus tôt possible les « défaillances potentielles » liées au processus de production ou au produit. Il s'agit là encore d'une démarche globale intégrant les sous-traitants au travail de groupe.

Comme il est indispensable de vérifier chaque étape de la vie d'un produit, il existe plusieurs types d'AMDEC<sup>1</sup> :

- par exemple, l'*AMDEC produit-projet* permet de verrouiller la conception des produits lorsqu'ils sont encore au stade de la conception,
- l'*AMDEC produit-process* assure la validation de la gamme de contrôle d'un produit afin qu'il satisfasse les caractéristiques du bureau d'étude,
- enfin, lors de la conception d'une machine, on peut anticiper tous les points critiques afin de réduire au maximum les pannes ainsi que les mécanismes et pièces fragiles : on parle alors de *AMDEC moyen ou machine*.

On voit bien que la maîtrise de l'aléas résulte ici d'une démarche globale et préventive (non curative) de gestion de la qualité. Cette démarche s'organise en quatre

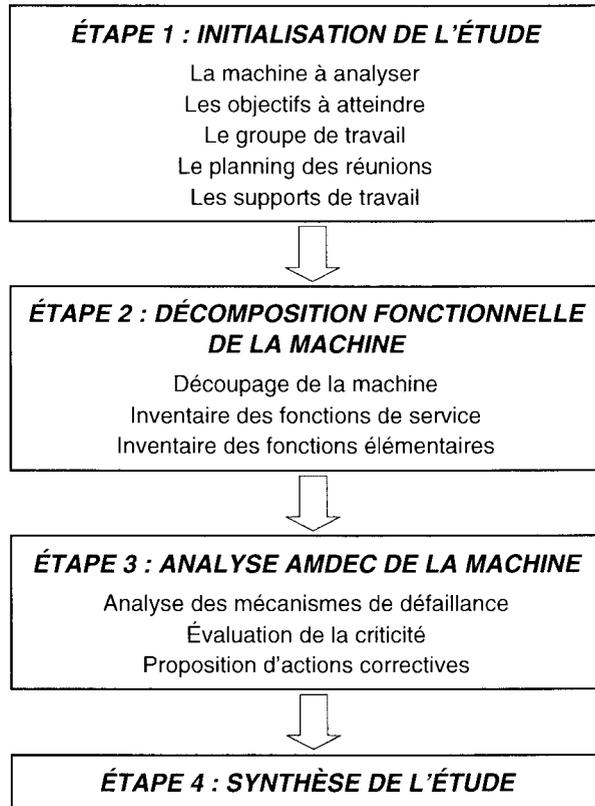


Figure 4.8 : Les étapes de l'AMDEC machine (Source : J. Riout, 1995<sup>2</sup>.)

1. A. Courtois, C. Martin-Bonnefous *et alii*, op. cité.

2. J. Riout, « L'AMDEC machine, un outil pour la maintenance », *Revue ENSAM, La maintenance, Annales des mines*, 1995.

étapes. Il faut « identifier les causes de défaillances, puis analyser leurs effets ». Ensuite, à partir d'un système de « notation », les défaillances sont « hiérarchisées ». Enfin, des « actions correctives » en prévention devront être menées. Concrètement, une base de données relative à la définition du système étudié, à ses conséquences sur l'équipement, et à la *fréquence* de chaque type de défaillance constaté est constituée. Un indice de *criticité* s'ajoute à ces données. Selon H. Molet (1993), est critique ce que l'analyse collective fait apparaître comme tel. La criticité peut donc être établie par rapport au risque d'arrêt d'une ligne de production, à la sécurité du personnel, à l'image de marque...

L'indice AMDEC consiste à associer une note de criticité attribuée à un processus considéré comme défaillant (criticité sans importance, criticité importante...) à la note attribuée à la fréquence de la défaillance. Ici des aspects qualitatifs se mêlent à des aspects quantitatifs pour tendre vers une association des fonctions de conception et d'exploitation, dans le cadre de la maintenance des équipements. À titre d'illustration, les étapes de l'AMDEC machine sont récapitulées en figure 4.8, ainsi que le mécanisme de base des défaillances d'un élément machine (*cf.* figure 4.9).

La lutte contre les gaspillages occasionnés par les pertes de temps s'organise autour d'une démarche globale et fédératrice, la TPM, qui intègre les instruments de progrès que sont le SMED, les 5S, l'AMDEC... Elle introduit des ruptures continues dans l'organisation visant à développer la culture de l'entreprise. Elle s'oriente pour cela vers les cinq attributs du système de production que sont les 5 M : Matière, Méthode, Main-d'œuvre, Machines, Milieu et contribue ainsi à une double amélioration en termes de ressources humaines et d'équipements.

## REPÈRES

L'effet « grumeaux dans un diluant » peut avoir plusieurs causes telles que de la matière non conforme, ou bien un conditionnement inadapté ou encore un lieu de stockage à mauvaise température. Dans le cas d'une matière non conforme, il faut détecter l'origine de cette cause c'est-à-dire identifier des sous-causes : il peut s'agir soit d'une erreur de fabrication, soit d'un mauvais choix lors de la phase de conception. Le triplet effet-cause-détection constitue le « mode de défaillance » du diluant. Il sera décliné en :

- effets : quelles sont les répercussions pour l'utilisateur ? (gêne, coût, risque de malaise respiratoire par inhalation, risque d'allergie...);
- causes : il faut identifier l'arbre de défaillance (il peut y avoir plusieurs causes et sous-causes à l'effet grumeaux dans le diluant) ;
- détection : aptitude de l'entreprise à ne pas livrer une cause de défaillance du diluant lorsque celle-ci existe ; pour cela l'entreprise dispose de moyen de contrôle, de mesure, de formation...

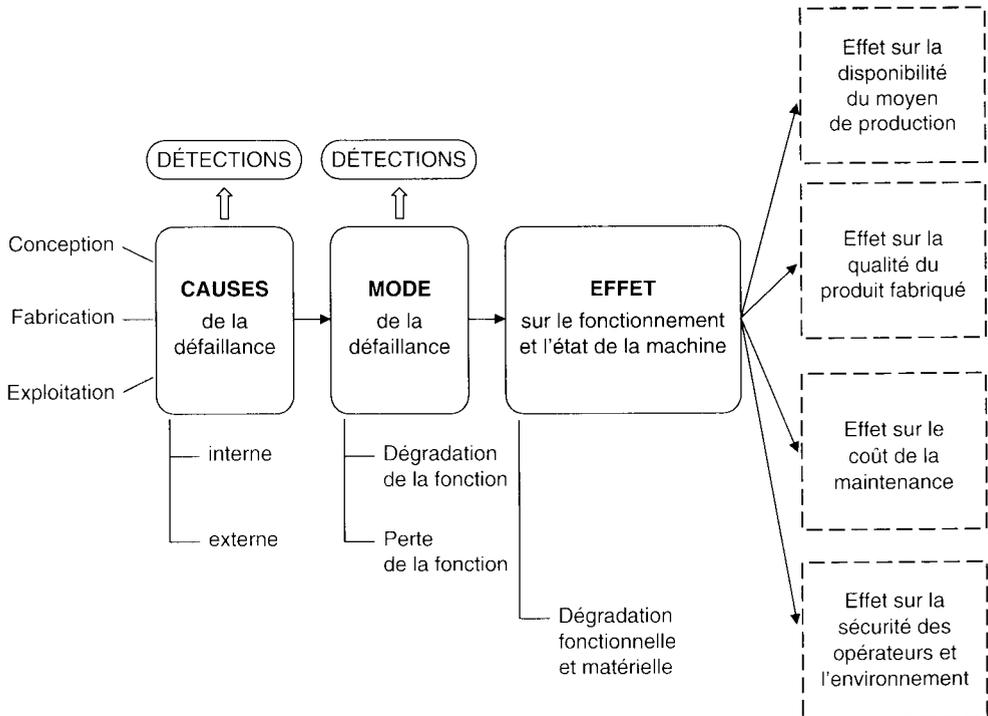


Figure 4.9 : Mécanisme de base des défaillances d'un élément machine (Source : J. Riout, 1995.)

## 2 Le gaspillage occasionné par une implantation inadaptée des équipements

Dans la mesure où le transport d'une pièce d'une machine à une autre ne lui confère aucune valeur ajoutée, la rationalisation des flux dans l'entreprise et dans l'atelier constitue aujourd'hui une préoccupation majeure pour un grand nombre d'industriels. Ce problème résulte souvent d'une mauvaise maîtrise des différentes étapes de la croissance de l'entreprise conduisant à des décisions hasardeuses en matière d'implantation des équipements.

Des implantations inadaptées à la logique de production alourdissent la logistique interne et contribuent au développement de démarches contre-productives (disposition anarchique qui conduit à rallonger inutilement les trajets, pièces passant parfois deux fois au même endroit...). Un choix judicieux en matière d'implantation des équipements suppose que l'entreprise décide d'un mode d'organisation principal cohérent par rapport à la nature des flux qui circulent dans les ateliers, ainsi qu'à la nature des produits fabriqués. Ceci renvoie le gestionnaire de la production à l'étude de deux éléments :

- la nature du process, à travers le degré de continuité ou de discontinuité des flux,
- le produit lui-même, à travers les quantités fabriquées et le degré de variété des biens.

Toutefois, on se rend compte que, derrière les particularités propres à chaque industrie, un modèle général d'organisation des équipements se dégage. En effet, depuis deux décennies, le système de production japonais est cité en exemple. Il prône la linéarité du processus productif en soulignant que le flux de production doit pouvoir être comparé à l'écoulement d'un cours d'eau. C'est un flux ininterrompu qui s'écoule d'autant plus vite qu'il suit un tracé linéaire et ne rencontre aucun obstacle. Ce modèle d'organisation linéaire – à quelques adaptations près – a séduit les entreprises occidentales. Mais aujourd'hui, il semble que le principe même de linéarité soit remis en cause et qu'un autre type d'organisation – les cellules flexibles – paraisse plus adapté à l'impératif de différenciation des produits.

## 2.1 Les technologies homogènes

Traditionnellement, le principe de spécialisation des ressources conduit à une *implantation fonctionnelle* des machines : tous les équipements réalisant le même type d'opération sont géographiquement regroupés ce qui conduit à parler de technologies homogènes (atelier d'usinage, atelier de perçage, atelier de fraisage...). Ce type d'organisation s'impose lorsque l'entreprise doit gérer un éventail conséquent de produits différents, tous fabriqués en petite quantité. Elle assure la flexibilité du processus productif et permet des gains de temps grâce à la réalisation en parallèle de produits différents. Toutefois, il résulte de cette logique du *job-shop* un fort degré de complexité. La longueur des trajets des matières et des pièces, l'éloignement des postes de travail effectuant des opérations successives, la nécessaire constitution de stocks d'en-cours... nuit considérablement à la performance de ce type d'organisation.

## 2.2 La recherche de la simplification des trajets par la mise en ligne : une comparaison Occident/Japon

La recherche de nouvelles modalités de circulation des flux s'illustre par une volonté clairement affichée de simplifier les trajets. Les postes de travail effectuant des opérations successives sont donc implantés côte à côte dans l'atelier. C'est la logique des opérations à effectuer sur la pièce (séquence opératoire des fabrications) qui détermine l'organisation des équipements afin que le flux circule sans turbulence. Ce mode d'organisation caractérisé par des flux continus est particulièrement recommandé dans le cas de production en forte quantité et à faible variété. La chaîne automobile en constitue une excellente illustration puisqu'il s'agit d'une production de masse différenciée (la différenciation étant retardée le plus en aval possible du processus de production).

Les opérations s'enchaînent désormais sans perte de temps, les stocks intermédiaires sont limités, le suivi de la production est facilité... À l'implantation par fonction succède donc une implantation par technologie appelée *technologie de groupe* ou *flow-shop*. Le modèle japonais étant devenu le modèle de référence pour nombre d'entreprises occidentales, cela justifie le succès du principe de linéarité en Occident. Mais si le principe du flux continu constitue la règle de base de l'organisation des ateliers en Occident, des différences dans les modalités pratiques d'application de ce principe existent. Elles se traduisent par le développement d'un système prônant le parallélisme des opérateurs alors qu'il est beaucoup plus linéaire au Japon comme le montre l'étude réalisée par C. Hohmann<sup>1</sup> :

La plupart des *lignes occidentales* sont organisées sur la base de convoyeurs contre lesquels on place *perpendiculairement* des postes de travail. On parle alors de disposition en « parallèle » ou en « épis ». Dans ce cas, le convoyeur (la ligne) est un simple collecteur, un simple moyen de transport assurant la fonction de transfert de pièces. L'opération de montage est classiquement répartie sur un ou quelques opérateurs placés côte à côte. C'est l'opérateur le plus proche du convoyeur qui alimente la ligne. Des systèmes de primes individuelles stimulent la productivité des opérateurs. Les pièces ne défilent donc pas toutes au même rythme sur le convoyeur.

Le principe de *linéarité à la japonaise* est différent car il se base sur l'intervention des opérateurs directement sur la ligne. La séquence de montage est répartie linéairement sur autant d'opérateurs que nécessaire pour atteindre la vitesse désirée ou pour obtenir un équilibrage correct et une maîtrise de la qualité... Dans ce type d'organisation, la ligne n'est plus seulement un simple moyen de transfert. Elle devient un véritable poste de travail puisque toutes les pièces passent dans les mains

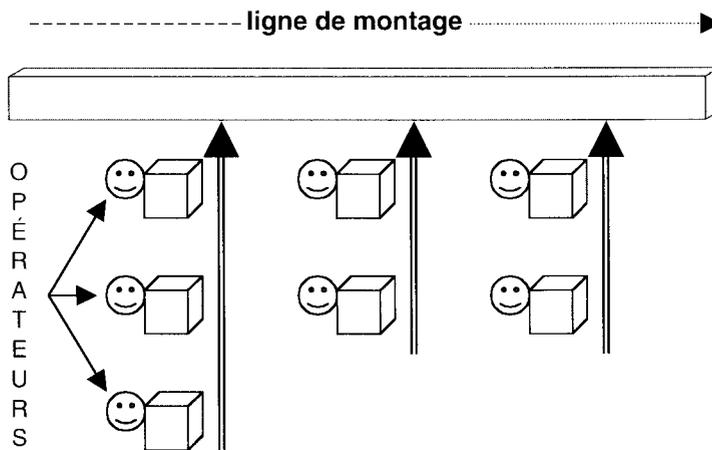


Figure 4.10 : Le parallélisme en Occident

1. [www.multimania.com/hconline/cell\\_fr.htm](http://www.multimania.com/hconline/cell_fr.htm).

Tableau 4.4 : Le parallélisme de la ligne de montage en Occident

Avantages	Inconvénients
Absence d'un opérateur sans graves conséquences	Pilotage à vue difficile (pas de vision globale)
Assemblage simultané de produits différents	Perte d'espace
Changements de séries sans graves répercussions	Constitution de stocks
	Résultats peu prévisibles

de tous opérateurs afin que chacun y ajoute une série d'opérations supplémentaires. Il est alors facile de savoir estimer le degré d'avancement de la production si un problème se pose sur un poste. Le travail est collectif. Toute l'équipe est soumise au même rythme et le système de la prime individuelle n'existe pas.

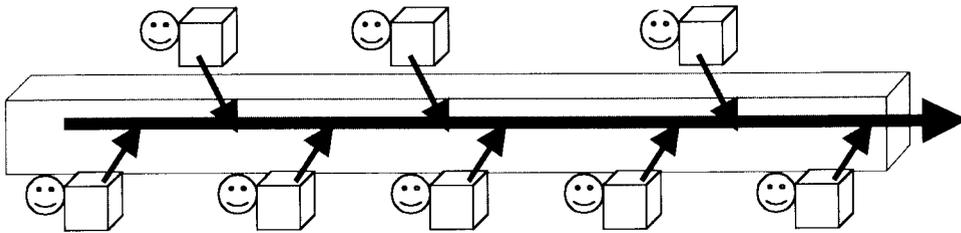


Figure 4.11 : La linéarité au Japon

Tableau 4.5 : La linéarité au Japon

Avantages	Inconvénients
Système adapté à de forts volumes	Répercussions fortes en cas d'absence (malgré la polyvalence)
Bonne visibilité pour piloter à vue	Changement de série affecte toute la ligne
Résultats relativement prévisibles	
Espace restreint	
Peu de stocks	
Gestion efficace de la ligne par l'encadrement (équilibrage, formation.).	

Ce type d'implantation s'organise le plus souvent autour de « cellules machines » afin de faciliter les opérations d'approvisionnement. Il s'agit alors d'identifier quelques trajets suivis par un grand nombre de pièces et de regrouper les machines de chaque circuit élémentaire en les disposant en U (cf. figure 4.12). Une usine est éclatée en secteurs indépendants, chaque secteur assurant l'ensemble des opérations relatives à l'une des familles de produit que l'autre usine traitait initialement. Les opérations de production concernant un même produit sont donc désormais disposées consécutivement afin de permettre leur enchaînement logique.

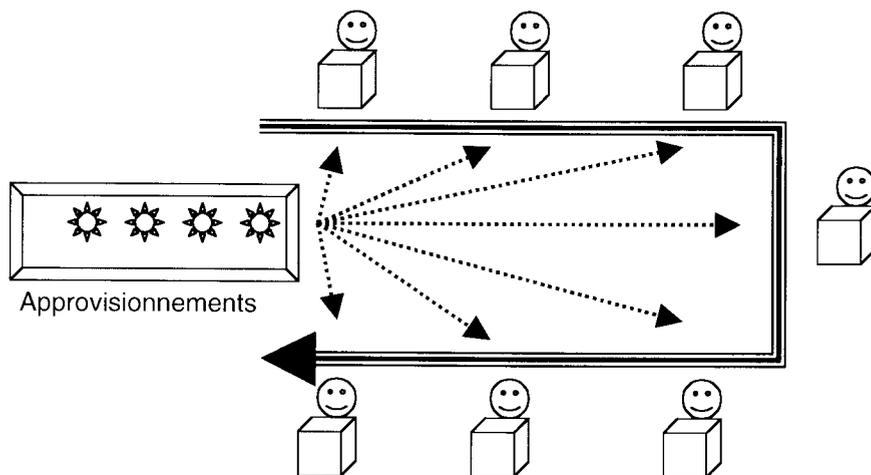


Figure 4.12 : L'implantation en U

Une dernière différence avec l'organisation occidentale résulte du fait que les moyens de transferts japonais sont beaucoup plus sophistiqués qu'en Occident. Le transfert est très fortement automatisé ce qui n'est pas le cas en Occident où il reste intensif en facteur travail.

### 2.3 De la mise en ligne aux cellules flexibles

Si des différences existent quant aux modalités d'application du principe de linéarité en Occident et au Japon, une critique très générale peut être adressée à ce type d'implantation. En effet, elle ne répond pas parfaitement aux exigences actuelles de la demande en terme de variété, puisqu'elle est avant tout destinée à la production de biens standardisés fabriqués en quantités importantes. Donc, bien que le système linéaire ait des avantages certains, en particulier dans sa forme japonaise, la question de sa remise en cause se pose aujourd'hui. Le niveau d'exigence de la demande implique désormais un tel degré de variété des produits que la taille des lots s'en trouve affectée (diminution).

Au niveau de la chaîne de production, ce nouvel impératif implique des changements de série de plus en plus fréquents. Or, le point faible de la ligne à la japonaise se trouve dans sa faible capacité à intégrer les changements de série. En effet, l'introduction de la différenciation implique la remise à plat de l'ensemble de la ligne de production. Si le SMED permet de minimiser les pertes de temps par des techniques de changement rapide des séries, il présente inévitablement certaines limites. Une entreprise qui met en œuvre une approche en JAT pour accélérer les flux recherche avant tout le moyen de standardiser ses processus de production de façon à gagner en productivité. Combiner flexibilité du processus de production et productivité conduit en matière d'implantation des équipements à remettre en cause le système du convoyeur et à développer des cellules flexibles.

De façon générale, cette organisation résulte de l'adoption de la logique TGAO (Technologie de groupe assistée par ordinateur). Elle permet de classer les pièces selon leurs processus de production et d'aboutir à la définition de *familles homogènes* de pièces, quelles que soient leurs destinations dans les produits finis<sup>1</sup>. À condition de posséder une main-d'œuvre et des équipements polyvalents (MOCN), plusieurs opérateurs vont alors prendre en charge la réalisation d'un produit ou d'un composant dans sa totalité. Ils disposent pour cela autour d'eux de l'ensemble des machines, équipements et outillages nécessaires. Plutôt que de travailler de façon séquentielle et linéaire c'est-à-dire opération par opération, l'ensemble des opérations est réalisé à la suite sur chaque unité de produit.

Bien que le bilan tiré d'expériences concrètes sur le terrain reste encore nuancé (le développement des cellules reste encore mal maîtrisé), ce type d'organisation connaît un certain succès notamment chez Renault, où des UET (Unités élémentaires de travail) se sont mises en place, ainsi que chez Pechiney.

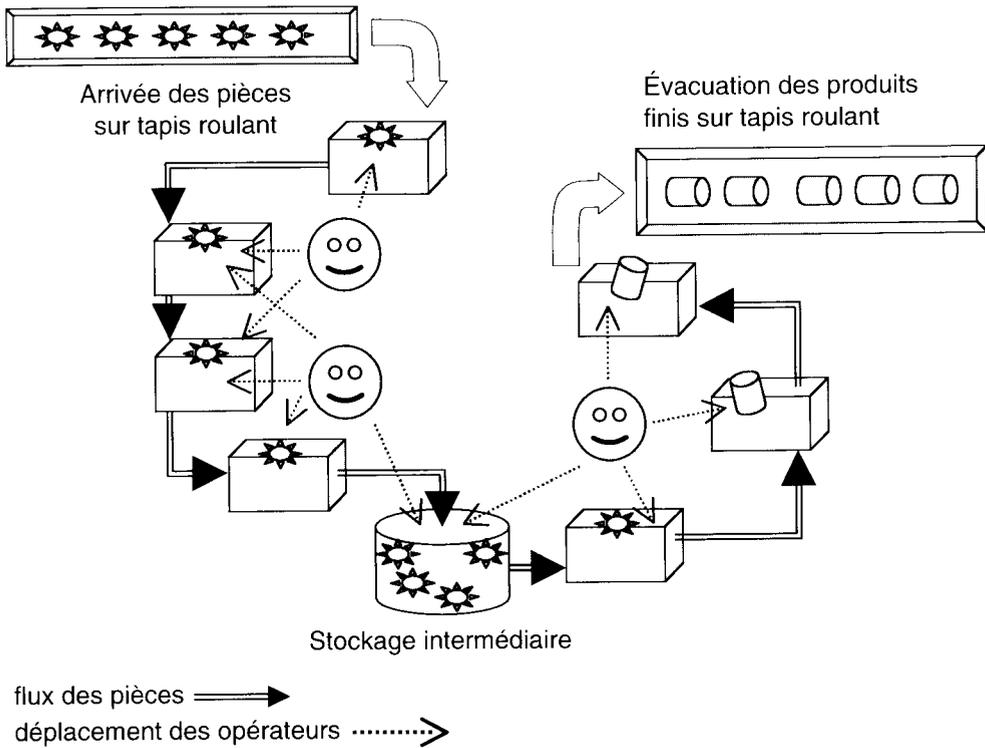


Figure 4.13 : Organisation en cellule flexible

1. *Management industriel et logistique*, op. cité.

Tableau 4.6 : Les cellules autonomes ou flexibles

Avantages	Conditions d'efficacité
Investissements peu onéreux (des établis peuvent remplacer le convoyeur) Production en petites quantités Motivation des opérateurs (rôle opérationnel et de management) Amélioration de la qualité Diminution des stocks Gain de place	Formation des opérateurs Vision globale de la performance

À condition d'être correctement appliqué, ce type d'organisation permet de répondre efficacement à l'impératif de variété. En réduisant les niveaux hiérarchiques, et en rendant les équipes de production plus polyvalentes et autonomes, les conséquences en termes de productivité et de qualité sont notables. Elles se traduisent aussi par une diminution des stocks et de la surface requise.

### 3 Le gaspillage lié à la surproduction et aux stocks inutiles : les implications pour le système d'information

La lutte contre la surproduction passe notamment par l'amélioration du système d'information dans l'entreprise et entre les entreprises. L'application de principes de bon sens, souvent oubliés, et regroupés dans la théorie des contraintes répond à cet impératif. La mise en œuvre de l'instrument privilégié du JAT qu'est le *kanban* participe aussi de cette logique par l'adoption d'un mode de gestion des flux en rupture par rapport au modèle traditionnel (flux tirés/flux poussés). Mais avant d'aborder ces deux aspects, une remarque sera faite quand à l'objectif couramment fixé aujourd'hui dans l'entreprise : le zéro stock.

#### 3.1 Le piège des stocks et du zéro stock : remarque préliminaire

Le développement industriel en Occident s'est largement appuyé sur une organisation taylorienne du travail. À côté des grands principes précédemment évoqués<sup>1</sup>, ce système se caractérise aussi par son mode de gestion de l'incertitude. Une solution naturelle et rationnelle au problème de gestion de l'aléa lors du processus productif consiste pour l'organisation traditionnelle à constituer des stocks. Ceux-ci permettent de répondre à des retards de livraison, des défaillances techniques, des défauts de qualité, des situations de litiges avec les fournisseurs<sup>2</sup>... susceptibles de générer des

1. Cf. chapitre 1 : production de masse dans le cadre d'un processus de production répétitif, standardisation des tâches, division du travail...

2. Cf. chapitre 3 sur les fonctions des stocks.

ruptures dans le processus de production. À titre d'illustration on reprendra ici la représentation graphique de Ohno représentant le bateau qui vogue sur un océan de stocks qui lui permet d'éviter un certain nombre de récifs. La constitution des stocks masque les différents types de difficultés rencontrées par les entreprises. Mais la démarche classique de l'entreprise traditionnelle consiste « à poser comme hypothèse (on peut même dire comme axiome) l'existence d'aléas (qui sont des données exogènes) et à rechercher le stock minimum qui permet de composer avec ces incertitudes, c'est-à-dire supprimer leurs effets<sup>1</sup>. »

L'approche en JAT vise non pas à considérer comme acquis l'existence des aléas mais au contraire à s'attaquer à la cause de l'incertitude, c'est-à-dire à l'origine de l'aléa lui-même. Les différentes modalités de chasse au gaspillage précédemment étudiées concrétisent la volonté des entreprises d'atteindre les « zéro<sup>2</sup> olympiques ». Selon la raison justifiant la constitution du stock, l'entreprise s'efforcera d'obtenir le zéro panne, zéro délai, zéro transport, zéro défaut, zéro litige et/ou encore zéro papier. S'il est tout à fait légitime de vouloir lutter contre les sources de gaspillage, il faut cependant remarquer que l'idée du zéro stock ne doit pas être prise au pied de la lettre. En effet, supprimer tous les stocks de l'entreprise peut s'avérer extrêmement dangereux dans la mesure où il accroît les risques de rupture du processus de production. L'objectif du zéro stock ne doit donc pas être interprété au premier degré. Il doit traduire la volonté de l'entreprise de réduire le niveau de ses stocks donc d'atténuer le phénomène de la surproduction en s'attaquant aux causes de formation de ceux-ci.

### 3.2 La gestion des ateliers par les contraintes

La théorie des contraintes<sup>3</sup> a été formalisée par E. Goldratt<sup>4</sup> et J. Cox en 1979. Elle a fait l'objet de plusieurs applications informatiques notamment dans le secteur de l'automobile aux États-Unis. Elle propose une nouvelle méthode de planification de la production permettant de mieux utiliser les capacités de l'entreprise et de répondre à certains problèmes de lourdeurs inhérents au système MRP. Il s'agit en fait d'une philosophie de management qui se concentre sur les performances des facteurs ou ressources qui limitent le résultat d'un système (on parle alors de contraintes) afin d'en améliorer la performance globale.

Elle se caractérise par le fait qu'elle s'appuie sur des concepts relativement simples mais souvent négligés par les entreprises. Elle cherche à réhabiliter la notion de profit en la définissant comme le but de l'entreprise. Les indicateurs financiers traditionnels que sont le bénéfice net, la rentabilité et la trésorerie sont remplacés par de nouveaux indicateurs : le produit des ventes, les stocks et les dépenses d'exploitation. Ces indicateurs ont l'avantage d'être plus significatifs et plus faciles à suivre

1. P. Roger, 1992.

2. Selon les sources et les entreprises le nombre des « zéro olympiques » varie.

3. Elle porte plusieurs noms : TOC pour Theory Of Constraints, OPT pour Optimized Production Technology, ou MPC pour Management par les contraintes.

4. E. Goldratt, *The Goal*, North River Press, 1984.

car ils ne demandent pas de traitements comptables complexes. Alors que dans le système comptable classique on cherche à augmenter à la fois le bénéfice, la rentabilité et la trésorerie, l'OPT choisit de privilégier l'augmentation des ventes et de diminuer les stocks et les dépenses d'exploitation. En effet, l'augmentation des ventes entraîne une augmentation des bénéfices, de la rentabilité et de la trésorerie. La baisse des dépenses d'exploitation entraîne une augmentation du bénéfice et de la rentabilité ; la trésorerie quand à elle ne baisse pas (elle peut même augmenter) puisqu'il n'y a pas d'achats effectués. Enfin, avec une diminution des stocks, la rentabilité augmente, la trésorerie ne baisse pas puisqu'il n'y a pas d'achat ; on ne connaît pas a priori les conséquences sur les bénéfices<sup>1</sup>.

À ces nouveaux indicateurs proposés par l'OPT, s'ajoute une nouvelle logique de gestion et d'ordonnancement des flux de la production. Son principe vise à identifier les contraintes de l'entreprise et à les gérer car ce sont elles qui limitent la capacité à atteindre le but, c'est-à-dire à garantir des profits ou à les accroître. Concrètement, cette logique s'organise autour de deux phases majeures. La première phase consiste à élaborer un graphe représentant le processus de fabrication et le détail des relations entre les produits fabriqués et les ressources nécessaires (machines, main-d'œuvre, outillage...). Dans une seconde phase, deux types de ressources sont différenciés :

- *les ressources goulets ou critiques* : ces goulets d'étranglement sont des ressources dont la capacité moyenne est juste égale ou inférieure au besoin et qui limitent donc la production,
- *les ressources non goulets ou non critiques* : il s'agit des ressources dont la capacité est en moyenne supérieure au besoin donc avec des excédents de capacité.

Lors du processus de production, il faut gérer les interactions entre ces différentes ressources en prenant en compte leurs capacités respectives et en y intégrant des phénomènes perturbateurs (les fluctuations et les aléas, les dépendances issues de la nécessaire synchronisation des différentes tâches pour accomplir un cycle de travail). Le principe de l'OPT consiste alors à ordonnancer en priorité les flux sur les ressources critiques. Une fois cette planification réalisée, l'ordonnancement des ressources non critiques est alors effectué sachant que l'existence de capacités excédentaires pour ces dernières évitera qu'un glissement dans la réalisation n'affecte l'ensemble du programme.

Plusieurs règles de gestion résultent de la prise en compte des différentes ressources et de leur interdépendance :

► **Règle 1 : Il faut équilibrer les flux et non les capacités**

Si un lot présente du retard à la sortie d'un atelier, celui-ci risque de se propager tout au long de la chaîne de fabrication. Donc dans ce cas, égaliser les capacités des

---

1. G. Javel, 1993.

différentes ressources, par exemple des différents ateliers, est sans intérêt. Les variations aléatoires successives s'ajoutent les unes aux autres et les retards s'accumulent.

► **Règle 2 : L'activation d'un non-goulet et son niveau d'utilisation ne doivent pas être déterminés par son propre potentiel mais par les autres contraintes du système**

Si un atelier A a une capacité de production de 20 et l'atelier B, situé en aval, a une capacité de 25, l'atelier B produira à la capacité de l'atelier A : il s'alignera sur une production de 20.

► **Règle 3 : L'utilisation d'une ressource et son plein emploi ne sont pas synonymes**

Chaque poste de production s'intègre dans un système plus global qui lui impose son fonctionnement. Ainsi, si la ligne de production est composée successivement de :

- A : ressource non-goulet dont la capacité est de 25 pièces par heure,
- B : ressource goulet dont la capacité est de 20 pièces par heure,
- C : ressource non-goulet dont la capacité est de 22 pièces par heure.

A produisant à pleine capacité générera un stock de 5 pièces par heure qui ne pourront pas être absorbées par le système, et C produira à la capacité de B soit 20 pièces par heure.

► **Règle 4 : Toute perte de temps sur un goulet est une perte de temps pour tout le système**

C'est la ressource goulet qui détermine le débit de sortie des produits. En conséquence, le temps perdu sur ce type de ressource réduit inévitablement le débit de sortie, donc affecte le résultat de l'ensemble du système productif.

► **Règle 5 : Tout gain de temps sur un non-goulet est un leurre**

La règle 2 conduit au constat suivant : malgré l'augmentation de la capacité d'une ressource goulet, son rythme de production sera dicté par la capacité de la ressource goulet située en amont.

► **Règle 6 : Les goulets déterminent le débit de sortie et les niveaux de stocks**

Il est inutile de lancer en production une quantité supérieure à la capacité des goulets car on crée ainsi des en-cours supplémentaires.

► **Règle 7 : Les lots de fabrication et lots de transfert ne doivent pas forcément être égaux**

Le lot de transfert se définit comme la quantité de produits transférés d'une opération à l'autre alors que le lot de fabrication est la quantité produite par une ressource entre deux changements de série. Le lot de transfert peut différer du lot de fabrication

dans le cas d'un chevauchement d'opérations ou de mise en parallèle d'opérations conduisant à transférer du poste amont vers le poste aval une quantité inférieure à celle lancée en fabrication.

► **Règle 8 : Les lots de fabrication doivent être de taille variable et non fixe**

En effet, il faut pouvoir moduler la taille des lots en fonction d'impératifs de nature tactique ou stratégique. On cherche alors à déterminer la taille des lots de fabrication en adoptant une démarche proche de celle de la quantité économique (modèle de Wilson). Il s'agit de rentabiliser le coût de réglage effectué pour réaliser la fabrication.

► **Règle 9 : Les programmes de fabrication doivent prendre en compte toutes les contraintes simultanément ; les délais de fabrication sont le résultat d'un programme et ne peuvent donc pas être prédéterminés**

Les contraintes de capacité et de priorité doivent être prises en considération de façon simultanée et non séquentiellement. La durée des cycles de fabrication résulte de la détermination d'un ordonnancement et ne peut pas être prédéterminée (comme dans le cas de la méthode MRP).

► **Règle 10 : La somme des optima locaux n'est pas égale à l'optimum global**

Ce n'est pas parce que chaque atelier, chaque machine ou chaque équipement est efficace que l'entreprise est globalement performante. Il faut que dans l'entreprise toutes les personnes travaillent dans le même but commun. La communication joue un rôle important pour atteindre cet optimum global.

Plusieurs spécialistes de la gestion de production affirment que la méthode OPT n'est plus guère utilisée de nos jours ; elle inspire cependant encore les responsables d'usines et s'inscrit dans une réflexion plus globale d'amélioration de l'efficacité.

### 3.3 La méthode *kanban*

Afin de ne pas produire trop, le principe de base du JAT consiste à lutter contre les différentes formes de gaspillages déjà évoquées. Dans cette logique, la méthode *kanban* constitue aussi un outil privilégié de lutte contre la surproduction car elle participe à la rationalisation des flux d'informations dans l'entreprise ainsi qu'à leur simplification. D'un point de vue opérationnel, l'entreprise ou l'atelier ne débute la fabrication que lorsque le besoin s'en fait explicitement sentir.

► **Définition générale et description**

Il s'agit donc d'adopter un mode de gestion de la production en *flux tirés* par opposition aux *flux poussés* du système traditionnel. En effet, dans le système traditionnel le lancement de la production s'organise à partir de prévisions. Quand les machines sont disponibles, la production est lancée, le système est alors poussé par l'amont.

La gestion en flux tirés repose au contraire sur une gestion par l'aval : chaque poste de travail ne met en production que sur demande réelle du poste situé en aval et non sur des prévisions. Le système est donc tiré par l'aval. Ce mode de gestion s'applique bien sûr par rapport à la demande externe de l'entreprise (les clients finaux) mais aussi au sein de l'atelier, par exemple entre deux postes de travail.

S. Shingo, le précurseur du *kanban*, se serait inspiré des pratiques en vigueur dans les chemins de fer pour proposer ce type de système d'information. Il a en effet constaté que « lorsqu'un train circule sur un tronçon à voie unique, une plaque spéciale portant des trous est remise à chaque tronçon au conducteur de train qui la donne, à son tour, au chef de gare. Celui-ci place la plaque sur le levier d'aiguillage, ouvrant ainsi la voie au train. Il donne également au conducteur la plaque correspondante au tronçon suivant, de sorte qu'il ne peut se trouver qu'un seul train à la fois sur chacun de ces tronçons<sup>1</sup> ». À l'image de ce qui se pratique dans le secteur ferroviaire, Shingo va proposer un système de circulation des données entre les opérateurs de la production à partir d'un ensemble de cartes ou d'étiquettes appelées *kanbans*.

La mise en œuvre du JAT à travers la méthode *kanban* repose sur un système d'information performant qui permet aux ordres de mise en production de transiter de l'aval du processus productif vers l'amont. L'information sur le niveau de la consommation – donc le niveau de la production à lancer – est transmise par l'intermédiaire du *kanban* (étiquette ou support d'information en japonais). Cette étiquette assure le double rôle de *fiche suiveuse* et d'*ordre de fabrication* émis par le poste aval et destiné au poste amont.

On comprendra alors que l'une des conditions préalables à la mise en place du système *kanban* entre deux postes de travail est que le poste amont dispose d'une capacité de production suffisante pour accepter les commandes du poste aval. L'ordre de fabrication matérialisé par le *kanban* (cf. figure 4.14) suppose qu'un certain nombre d'informations figurent sur celui-ci :

- la référence de la pièce : nom, numéro ;
- la provenance et la destination : poste amont/poste aval ;
- la capacité du container ;
- éventuellement un code barres pour une lecture optique.

C'est la vitesse de circulation du *kanban* qui commande le rythme de fabrication (la vitesse de l'étiquette étant elle-même fonction du rythme de consommation des pièces). Donc si un poste aval cesse d'utiliser certaines pièces, alors le poste amont interrompra automatiquement sa production puisqu'il ne reçoit plus d'ordre de fabrication. Il ne peut donc pas y avoir de surproduction.

Les *kanbans* sont soit fixés sur des containers contenant les pièces à usiner en attente ou en cours de transport, soit « libres » en cours de retour au poste amont, soit enfin disposés en attente sur le planning des *kanbans* du poste amont.

1. S. Shingo, 1986.

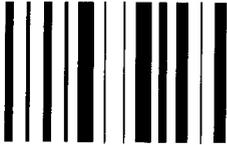
		<b>CARTE KANBAN</b>	
<u>Atelier Fabrication</u>			
Code Pièce	ENG-P-120		
Nom Pièce	Engrenage plein (diamètre = 120 mm)		
Quantité du container	120		
Lieu d'utilisation	Poste n° 5		
Atelier suivant	<i>Assemblage</i>		

Figure 4.14 : Carte *kanban*

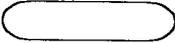
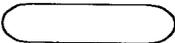
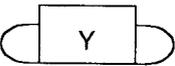
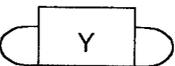
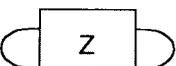
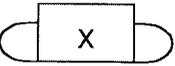
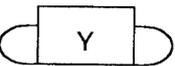
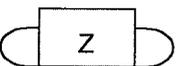
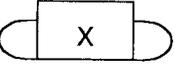
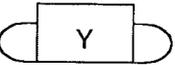
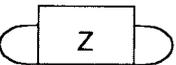
Produit X	Produit Y	Produit Z
		
		
		
		
		
		

Figure 4.15 : Planning des *kanbans* (sans priorité)

Le nombre de *kanbans* en circulation entre deux postes est déterminé par le responsable. Il traduit la flexibilité du système ainsi que le niveau de l'en-cours souhaité.

Dans le planning à *kanban* (cf. figure 4.15), chaque case vide représente le nombre de containers disponible pour chaque type de pièces. Il s'agit en fait de containers stockés. Les *kanbans* qui apparaissent sur le planning traduisent en fait des ordres de production. Si 6 cartes circulent pour le produit X et que 2 figurent sur le tableau alors 4 ont quitté le poste et ne sont pas encore utilisées par le poste suivant ; il s'agit donc d'un stock disponible. Selon l'organisation physique de la production, c'est-à-dire notamment selon le degré d'éloignement des postes de travail reliés par le *kanban*, il existe deux types de systèmes *kanban*.

### ► Le système *kanban* à simple boucle

La circulation des *kanbans* entre les deux postes s'organise suivant une logique de type client-fournisseur, c'est-à-dire que les flux d'informations vont dans le sens contraire des flux physiques. Si les deux postes de travail se situent géographiquement dans le même atelier de fabrication, il s'agit d'un système à simple *kanban* ou à simple boucle.

Chaque fois que le poste aval entame un container de pièces, il détache de celui-ci un *kanban* qu'il retourne au poste amont. Le *kanban* – appelé « *kanban* de production » – est placé sur un tableau, le planning des *kanbans* près du poste amont. Chaque fois que le poste amont reçoit un *kanban*, cela équivaut à recevoir un ordre de fabrication. Le poste amont met donc en fabrication le nombre de pièces nécessaires pour remplir le container. Lorsqu'il a terminé de fabriquer la quantité requise, il envoie le container muni du *kanban* jusqu'au poste aval. Ce n'est que lorsque le planning des *kanbans* est vide que la production du poste amont s'arrête. La figure 4.16 décrit les éléments essentiels du fonctionnement d'un système *kanban*. Le poste amont est en train de produire la quantité nécessaire pour remplir un container ; le poste aval utilise un container et, donc, a déjà envoyé le *kanban* de ce container au poste amont (*kanban* en transit).

Comme un opérateur livre souvent plusieurs opérateurs en aval, une gestion des priorités doit être organisée au niveau des cartes *kanbans* (cf. figure 4.17). Cette gestion des priorités permet à l'opérateur de choisir le type de pièce à fabriquer en premier. Le tableau de *kanbans* contient alors deux signaux d'alerte.

L'*index triangulaire* correspond au nombre maximum de *kanbans* en circulation pour une pièce donnée. Il est préférable de positionner un index amovible car ce nombre peut facilement évoluer. Lorsque l'*index triangulaire* est atteint, cela signifie que le poste aval n'a presque plus de stock (le container entamé se termine) : l'opérateur du poste amont doit lancer la fabrication s'il ne souhaite pas prendre le risque de casser le flux. Pour la pièce X le nombre total de *kanbans* en circulation est de 5. Puisque 2 *kanbans* de la pièce X figurent sur le planning, cela signifie qu'il

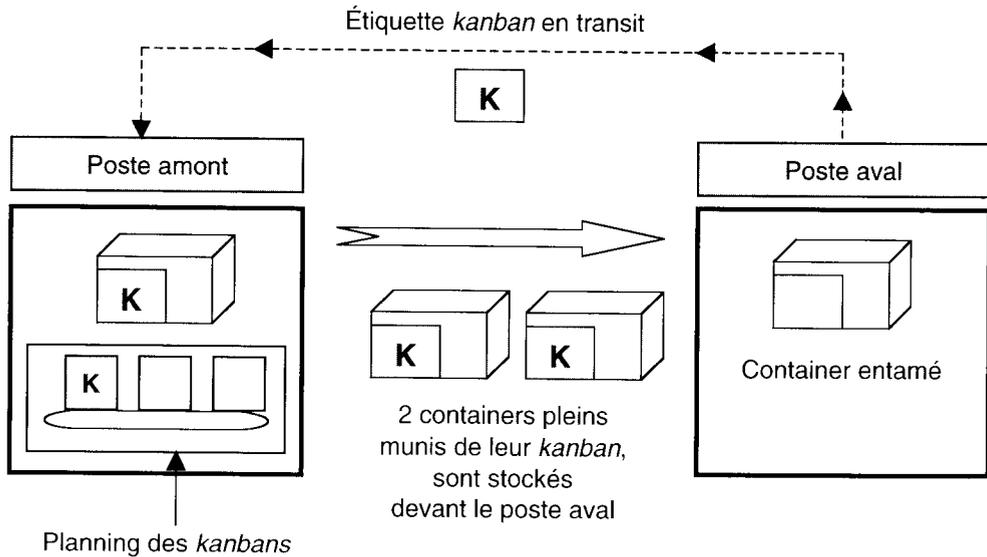


Figure 4.16 : Fonctionnement du système simple *kanban* ou simple boucle

reste  $5 - 2 = 3$  containers de X en stock devant le poste aval, prêts à être utilisés. Même raisonnement pour les pièces Y et Z.

L'*index flèche* représente un seuil d'alerte. On peut en effet décider de conserver un stock minimal de containers de pièces. Lorsque l'on atteint l'*index flèche* c'est qu'il va y avoir une rupture d'approvisionnement en aval susceptible de causer l'arrêt du processus de production. Le lancement de la référence ayant atteint cet *index* s'impose alors. Dans notre exemple le stock de sécurité pour la pièce X est de 3, de 2 pour la pièce Y et de 2 pour Z. On choisira de lancer en production en priorité les pièces dont la colonne *kanban* est la plus proche de l'*index flèche* soit Z dans notre exemple.

Si l'existence d'un stock de sécurité rapproche cette méthode de la gestion des stocks à point de commande, la différence se trouve dans les délais de production matérialisés par l'*index* d'alerte. Dans le système traditionnel, ce délai est souvent de plusieurs semaines. Dans le système *kanban*, on opère une gestion à très court terme dans les ateliers puisque le lancement de la production s'effectue en quelques heures ce qui réduit considérablement le délai.

### ► Détermination du nombre de *kanbans*

Calculer le nombre de *kanbans* en circulation pour chaque pièce est un problème moins simple qu'il n'y paraît de prime abord. Si ce nombre est trop élevé, il y a constitution de stocks inutiles, situation évidemment décevante dans le cadre du JAT. Mais si ce nombre est trop faible, le poste aval risque de manquer de composants, entraînant la paralysie du système dans son ensemble (certains responsables

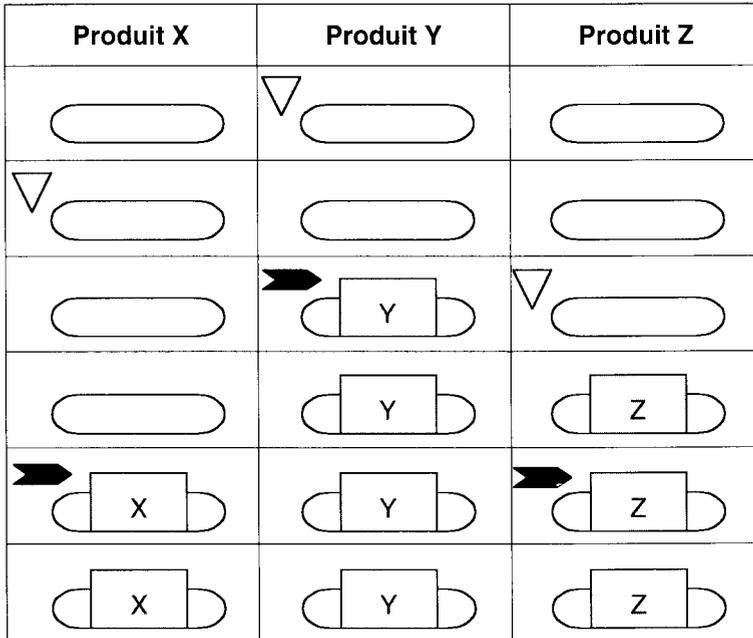


Figure 4.17 : Planning des *kanbans* (avec priorité)

parlent de flux cassés). En général, les entreprises procèdent empiriquement<sup>1</sup> : elles commencent par fixer un nombre de *kanbans* qui couvre largement les besoins, puis diminuent progressivement sa valeur jusqu'à tendre le flux. Pour éviter que la démarche ne relève exclusivement du tâtonnement, nous proposerons un modèle permettant de calculer le nombre de *kanbans*. Sans considérer ses résultats au pied de la lettre, il peut fournir une aide et un repère.

Considérons un système à simple boucle, où deux ateliers de la même usine travaillent en *kanban*. Indiquons les principaux paramètres du modèle :

- soit D la demande quotidienne qui s'adresse au poste aval pendant une unité de temps déterminée (souvent la journée) ;
- soit N le nombre de pièces contenues dans chaque container ;
- soit K le nombre de *kanbans* (ce que nous cherchons) ;
- soit T le temps de cycle (ou délai de réaction) : il s'agit du temps qui sépare le moment où le container est entamé du moment où le container revient disponible devant le poste aval. Le délai de réaction, toujours mesuré dans la même unité de temps que la demande, se décompose en une succession de durées :

1. On lit parfois que la quantité stockée par container doit correspondre environ à 10 % de la demande journalière. Cela peut déjà permettre d'avoir une vague idée du nombre de *kanbans* nécessaires.

- temps d'enlèvement du *kanban* dans le poste aval (ils peuvent être relevés toutes les heures),
- temps de transit du *kanban*, de l'aval vers l'amont,
- temps d'attente du *kanban* sur le planning à *kanbans* du poste amont (la production de la pièce concernée peut ne pas être prioritaire),
- temps de réglage de l'équipement,
- temps de fabrication des pièces du container,
- temps d'enlèvement du container dans le poste amont,
- temps de transport du container muni de son *kanban* jusqu'à l'atelier aval.

Pour que le processus fonctionne avec fluidité, il faut que l'atelier aval soit toujours approvisionné ; mais il est inutile qu'il le soit de manière excessive (gaspillage). Ainsi, le stock minimal correspond au stock qui permet à l'atelier aval de satisfaire la demande pendant le temps de cycle  $T$ .

Or, on sait que le poste aval consomme 1 container de  $N$  pièces toutes les  $d = N/D$  unités de temps. Ainsi, lorsque  $d > T$ , un seul *kanban* pourra suffire au fonctionnement optimal du système (sous réserve qu'il n'y ait aucun incident).

Dans le cas général et sous les hypothèses précédentes, le nombre de *kanbans* sera donc égal à :  $K = (D \times T)/N$

- sachant que  $D \times T$  correspond au nombre de pièces qui permet de couvrir de temps de cycle,
- ou sachant que  $D/N$  correspond à la demande de containers en unités de temps,
- et telle que la valeur obtenue soit un entier (arrondi obligé à la valeur supérieure) ;

Il est maintenant possible d'ajouter à ce raisonnement de base deux raffinements ; l'un traduit la volonté de se prémunir contre les aléas (création d'un stock de sécurité), l'autre envisage une fabrication dans le poste amont exclusivement réalisée par lots (par exemple, pour des raisons économiques).

- *L'existence d'un stock de sécurité*

La façon la plus simple d'intégrer le stock de sécurité dans la formule précédente consiste à ajouter au numérateur une quantité  $S$  de pièces (souvent multiples de la quantité  $N$ ) afin d'accroître empiriquement le nombre de *kanbans* :

$$K = \frac{(D \times T) + S}{N}$$

Mais il est aussi possible d'envisager le temps de cycle  $T$  comme une variable aléatoire suivant une loi normale de moyenne  $m_T$  et d'écart type  $\sigma_T$ . Dans ce cas, pour se prémunir contre d'éventuelles variations par rapport à des temps moyens, on pourra par exemple poser :

$$K = \frac{D \times (m_T + h\sigma_T)}{N}$$

où  $h$  est une valeur plus ou moins élevée fonction du degré de couverture du risque que l'on souhaite pour le processus (par exemple :  $h = 3$ ).

• *L'obligation d'une production par lot*

Imaginons que la fabrication des pièces dans l'atelier amont se fasse par lot économique de  $Q$  pièces. Le lot économique contiendra donc  $q = Q/N$  *kanbans*. À cause de cette obligation, l'atelier amont doit attendre qu'il y ait les  $q$  *kanbans* sur le planning avant de lancer la fabrication. Cela signifie que le poste aval doit renvoyer  $(q - 1)$  *kanbans* en plus de celui qui figure déjà sur le planning, avant que l'atelier amont ne commence la fabrication. Ainsi, le délai supplémentaire qui s'ajoute au temps de cycle est égal à  $(q - 1)$  fois la durée de consommation d'un container par le poste aval :  $(q - 1) \times d$ .

Ainsi, le nombre de *kanbans* sera égal à :

$$K = \frac{D \times [T + (q - 1)d]}{N}$$

Aléas et production par lot conduisent inévitablement à un accroissement du nombre de *kanbans*. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que l'objectif principal, comme le suggérait Shingo (1988), consiste en priorité à améliorer le fonctionnement du système, notamment en fixant un nombre de *kanbans* minimum. Pour cela, il est nécessaire de réduire les temps de cycle, donc de réduire notamment :

- les temps de réglages,
- les temps de changements d'outils (méthode SMED),
- la durée de la fabrication (par exemple, grâce à une meilleure implantation des équipements),
- les aléas (grâce à une maintenance préventive efficace).

► ***Le système kanban à double boucle***

Lorsque les postes ne sont pas localisés au même endroit ou lorsque par manque de place il est impossible de stocker les pièces dans l'atelier, un système qualifié de système à double *kanban* ou à deux boucles est alors mis en place. Il nécessite le recours à un magasin intermédiaire – une aire de stockage – où sont stockés des containers de pièces, ainsi que l'utilisation d'un type de cartes supplémentaire, les *kanbans* de transfert.

Chaque fois que le poste aval entame un container de pièces, il détache de celui-ci le *kanban* de transfert et le place sur le planning de manutention. Cela correspond à un ordre de manutention. Le manutentionnaire doit alors aller chercher un container

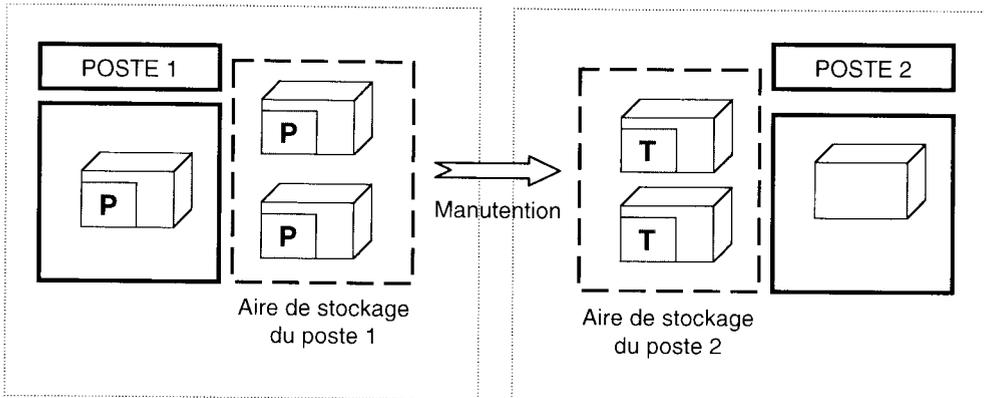


Figure 4.18 : Fonctionnement du système à double *kanban* ou double boucle

sur l'aire de stockage du poste amont. Il retire du container le *kanban* de production et le place sur le planning des *kanbans* de production près du poste amont. À la place du *kanban* de production qu'il vient d'enlever, il va accrocher le *kanban* de transfert au container et transporte ce dernier jusqu'à l'aire de stockage du poste aval. Chaque fois que le poste amont reçoit un *kanban*, cela équivaut à recevoir un ordre de fabrication.

### ► Le *kanban* informatisé

Si la mise en œuvre intrinsèque d'un système *kanban* suppose l'utilisation d'un dispositif simple de type manuel, le *kanban* peut être aussi informatisé. C'est souvent l'éloignement géographique entre les deux postes de travail qui justifie le recours à l'informatisation. La transmission étant devenue impossible (dans des délais raisonnables) à cause de la distance qui sépare les deux postes, l'information relative à la consommation est transmise grâce au réseau informatique (notamment à l'EDI). Le *kanban* informatisé est aussi très utilisé dans des secteurs industriels faisant l'objet d'un fort degré de normalisation des transactions. C'est le cas du secteur automobile. La norme Galia (Groupement pour l'amélioration des liaisons dans l'industrie automobile) utilise ainsi la transmission de *kanbans* par EDI.

Que ce soit dans le cadre de transactions menées en interne (les deux postes appartiennent à la même entreprise) ou en externe (les deux postes appartiennent à deux entreprises différentes) l'objectif du *kanban* informatisé reste de transmettre un ordre d'achat à un fournisseur. L'étiquette comporte alors un *code à barres*. Grâce à un mode de *lecture optique*, le code barre donne les informations nécessaires en terme de consommation, donc en terme de niveau des stocks disponible. La commande au fournisseur est alors automatiquement passée.

## REPÈRES : *Kanbans* et planning informatisé<sup>1</sup>

Le groupe Wabco fait partie du holding American Standard. Wabco est un équipementier pour poids lourds (camions et remorques). Son domaine d'activité initial concerne le freinage à air comprimé. Il a été élargi aux systèmes de contrôle (notamment ABS) et d'assistance à la conduite. Les *kanbans* sont ici utilisés :

- d'une part, entre les lignes de montage et les secteurs usinage et peinture,
- d'autre part, entre les magasins principaux et les RIP (Raw In Process). Les pièces les plus utilisées, et en particulier les pièces communes à plusieurs variantes, sont gérées dans des emplacements de stockage présents tout autour des lignes d'assemblage, les RIP. Ceux-ci sont matérialisés sous la forme d'étagères ou de petits magasins rotatifs et robotisés. Ils sont aussi présents sous la forme d'emplacements identifiés au sol pour les paniers de composants usinés.

Wabco utilise les codes barres pour gérer l'usinage des pièces. Chaque « panier » (ou container) est identifié par une étiquette. Lorsque la dernière pièce d'un panier est utilisée par le poste de montage, un code barre spécifique permet de signaler que le container est vide. L'information est transmise au poste usinage grâce au système d'information de l'entreprise. L'étiquette du container vide est supprimée. Le poste usinage imprime alors une nouvelle étiquette. Pour chaque « panier » qu'il mettra en production, c'est-à-dire qu'il remplira de pièces, le poste usinage imprimera une nouvelle étiquette. Pour connaître les pièces à fabriquer, le poste usinage ne se réfère pas à un planning de production « physique » mais à un écran informatique. Cet écran donne trois types d'informations :

- le nombre de paniers pleins, actuellement disponibles pour les lignes de montage (quantité en stock),
- le nombre de paniers en cours de fabrication,
- le nombre de paniers vides.

Lorsque le point de lancement de la commande est atteint, un signal apparaît. En effet, afin de gagner du temps de *setup* c'est-à-dire de préparation d'outils sur les machines, les paniers sont souvent lancés par groupes et non individuellement au fur et à mesure des déclarations de consommation.

Le tableau informatisé des *kanbans* présente un autre intérêt. Il est en effet utilisé par les planificateurs de la production lors de l'élaboration de leur programme production. Il permet de les renseigner sur le potentiel de pièces susceptible d'être réalisé par le poste usinage.

1. S. Gomez, C. Belin, A. Guédiche, *Visite d'entreprise : Société Wabco France*, dossier de recherche, DESS Logistique, Université Paris I, 1999.

► **Les conditions d'application du système kanban et ses limites**

Si le système d'information développé dans la méthode *kanban* apparaît relativement simple dans son principe, la tension des flux qu'il suppose conduit à poser un certain nombre de conditions à sa mise en œuvre. Ce système a pour caractéristique de gérer des flux tendus, donc loin de réguler les perturbations éventuelles, il a plutôt tendance à les amplifier : les stocks ne sont pas là pour jouer leur rôle d'amortisseur de conjoncture.

- Une des premières conditions à laquelle il doit répondre concerne la nature du produit et de la demande. En effet, sachant que l'objectif général du système est la suppression des aléas, mais sachant aussi que l'on ne peut pas supprimer tous les aléas, on comprendra que le système *kanban* est dédié à des produits techniquement stabilisés et peu complexes (P. Baumgartner, 1998). Il suppose aussi que la production soit de nature répétitive et relativement régulière. Dans la mesure du possible, il faudrait pouvoir « geler » le plan directeur de production de façon à répartir pendant une période relativement longue (un mois si possible) la production et s'assurer ainsi de la stabilisation des flux. À défaut, le temps de réaction des boucles *kanban* ne permet pas de répondre à la demande dans les délais. De plus, une variation de la demande entraîne une modification dans le même sens du nombre de *kanbans* en circulation, ce qui risque à terme de déstabiliser le système.
- Deuxièmement, les stocks intermédiaires étant limités, le système doit disposer d'une forte rapidité de réaction. L'application de la méthode SMED est recommandée afin d'améliorer les temps de changements de série. De même, pour répondre à l'impératif stratégique de gestion du temps, le volume des containers doit être relativement faible. En effet, la rapidité de réaction du système dépend de son degré de fluidité. Sachant que la taille des containers dépend du délai de production et du délai de consommation des produits, on a tendance à considérer que la fluidité du processus dans l'entreprise est assurée lorsque le nombre de pièces dans le container représente moins d'un dixième de la consommation journalière<sup>1</sup>. Mais cette règle ne présente pas de caractère systématique. L'idée est cependant de tendre vers le *one piece flow* c'est-à-dire vers une seule pièce dans le container.
- Troisièmement, une grande rigueur doit être respectée en matière de gestion de l'information. C'est pourquoi, les *kanbans* détachés des containers doivent être transmis rapidement (au moins toutes les heures) au poste amont ce qui suppose aussi une bonne implantation des ateliers pour faciliter la circulation des *kanbans* et des containers. D'autre part, chaque poste doit respecter scrupuleusement les ordres de production signifiés par les *kanbans*. Ils ne doivent produire qu'au moment où l'ordre de fabrication leur parvient afin de limiter les stocks (logique des flux tirés). De même, pour éviter toute ambiguïté concernant les informations qui circulent, les containers doivent être soit pleins, soit vides, mais en aucun cas ils ne doivent circuler en étant partiellement remplis.

1. A. Courtois, C. Martin-Bonnefous *et alii*, op. cité.

Ce système de production présente de nombreux avantages dans la mesure où il permet, en évitant la surproduction, d'éviter le gaspillage de ressources et d'assurer la flexibilité de l'entreprise. Le service final proposé au client correspond ainsi mieux à son niveau d'exigence tant en terme de délai que de qualité. L'entreprise quant à elle développe des bases saines de gestion. Les difficultés particulières qui se posent dans les ateliers (lenteur des processus, pannes, défaut qualité...) apparaissent clairement puisqu'elles ne sont plus masquées par la présence de stocks et contribuent à améliorer la productivité.

Mais les conditions d'application du *kanban* sont assez restrictives. Ainsi, une production régulière et répétitive, des produits simples et techniquement stables... ne constituent pas les caractères standards des modes de production. La demande est en effet plutôt erratique et la technologie évolutive. De plus, le *kanban* étant dédié à une gestion à court terme des ateliers, il s'adapte naturellement mal à un mode de gestion par anticipation (à partir d'informations prévisionnelles). Cela justifie le fait que même dans les entreprises japonaises, ce système ne pilote le plus souvent qu'une partie seulement de la fabrication, le reste étant géré par le MRP. Donc, bien que les flux tirés constituent l'instrument privilégié du JAT, ils sont souvent *combinés dans l'entreprise à une démarche en flux poussés*. C'est particulièrement vrai dans le cas où la demande est instable. La production est alors lissée c'est-à-dire régularisée sur une longue période grâce au MRP. L'adéquation charge/capacité est réalisée dans le cadre du MRP 2, ce qui permet ensuite au *kanban* d'être utilisé sur du court terme localement dans les ateliers. Le fonctionnement en court terme n'est donc pas fondé ici sur une demande réelle mais sur une demande régularisée par l'intermédiaire du MRP. De même, il est possible d'associer à une gestion amont de la fabrication en flux poussés (pour de grosses quantités produites) une gestion aval par le système *kanban* (pour des volumes plus faibles).

L'intérêt d'un système hybride est de permettre notamment la différenciation à la fin du processus productif de produits standards à l'origine. Enfin, on peut aussi combiner des ateliers de montage fonctionnant en *kanban* (car proches au niveau des délais de la demande) et des ateliers d'usinage des composants et des sous-ensembles gérés par MRP. La complémentarité flux poussés/flux tirés apparaît ici de nouveau. Ces questions furent déjà abordées dans un contexte légèrement différent lors du chapitre 2, à l'occasion de la gestion sans OF chez TESA (section 2, § 3.3.).

#### **4 Le gaspillage dû au défaut de coopération : le rôle du partenariat industriel**

Si l'évolution des conditions d'existence des entreprises depuis une décennie implique la mise en œuvre de nouvelles démarches de production en interne, elle suppose aussi la nécessaire adaptation de leurs stratégies productives. Dans ce cadre-là, le développement du partenariat permet de répondre aux problèmes qui se posent souvent aux entreprises en terme de litiges. Les dernières évolutions permettent de constater le degré d'influence des nouvelles technologies de l'information

qui participent largement à ce *mouvement de coordination* en favorisant actuellement la mise en place d'organisations de plus en plus intégrées<sup>1</sup>.

#### 4.1 Les problèmes traditionnels

La réalisation des nouveaux impératifs de la gestion de production (notamment en matière de qualité, de délais, de coûts...) implique l'adhésion de l'ensemble du personnel de l'entreprise. Mais elle implique aussi à un autre niveau les différents partenaires de l'entreprise. Or, il est parfois difficile pour l'entreprise d'exercer directement un contrôle sur l'activité de ses fournisseurs ou de ses sous-traitants. Ainsi, deux problèmes principaux peuvent se poser à l'entreprise.

Tout d'abord, l'incertitude émane souvent des délais de livraisons des fournisseurs. Ils sont parfois variables (et extensibles) ce qui n'est pas compatible avec une démarche en JAT de l'entreprise. De plus, une autre incertitude pèse sur la qualité des fournitures délivrées à l'entreprise par le fournisseur. Ce problème est d'autant plus important si l'on envisage le cas d'un contrat de sous-traitance car c'est la responsabilité économique du donneur d'ordres qui est engagée si le produit final ne répond pas aux exigences du client. En fait, les relations client-fournisseur et donneur d'ordres-sous-traitant sont traditionnellement caractérisées par des rapports de force et un certain degré de méfiance ce qui entraîne des comportements contre-productifs (augmentation des coûts de transaction notamment). Ainsi, afin de se prémunir contre des retards ou des défauts de qualité, l'entreprise choisit de multiplier les contrôles dès la réception des marchandises, de travailler avec un nombre élevé de partenaires et/ou de constituer des stocks. Dans le cadre d'une logique purement *transactionnelle*, elle cherche aussi à tirer le meilleur prix de ses fournisseurs ou sous-traitants et les met pour cela en concurrence. Or ces différents modes de gestion de l'aléa entraînent un gaspillage de ressource en contradiction avec les principes du JAT qui se traduisent par des surcoûts administratifs notamment en matière de gestion des approvisionnements<sup>2</sup>.

Quant aux fournisseurs ou aux sous-traitants, ils redoutent le manque de fidélité du client. En conséquence, ils minimisent les investissements en matériel ou en formation réclamés par le client et qui permettraient par exemple d'améliorer les délais de fabrication ou la qualité. De même, plutôt que d'établir une relation durable et privilégiée avec quelques entreprises (susceptible notamment de réduire les coûts de transaction), ils préfèrent limiter les risques en multipliant le nombre de leurs clients.

Par analogie à ce qui se passait traditionnellement dans l'entreprise entre les différents services, les relations entre entreprises sont donc souvent dominées par une logique d'individualisation et par une certaine défiance à l'égard des partenaires à l'activité de production (crainte de voir apparaître des comportements opportunistes).

---

1. Le chapitre suivant, traitant de la logistique, insistera sur les modalités pratiques du partenariat, notamment dans le cadre du partage d'informations (CPFR, GPA, etc.).

2. P. Roger, 1992.

Cela se traduit par des relations de nature conflictuelles qui ne favorisent pas la compétitivité globale des entreprises. En effet, les défauts de qualité, les délais qui s'allongent et les stocks qui se gonflent constituent fondamentalement les bases d'un système contre-productif pour les deux entreprises puisqu'il multiplie les sources de gaspillage.

#### 4.2 Le partenariat industriel : la reconfiguration organisationnelle et culturelle de l'entreprise

Le passage d'un système traditionnel d'organisation du travail et de la production à un système en JAT conduit en interne à la nécessaire implication de l'ensemble des acteurs de la production. La production au plus juste (la *lean production*) s'appuie dans l'entreprise sur la valorisation des interactions entre conception, production et distribution. Celle-ci est obtenue grâce au décloisonnement des fonctions, à l'apprentissage croisé entre des acteurs détenteurs de savoirs spécifiques, donc par l'intégration croissante des flux d'informations entre les hommes et les fonctions et ceci le plus en amont possible (dès la phase de conception).

Mais la complexification des objectifs de la production, dans le cadre d'un environnement dynamique, conduit aussi l'entreprise à intégrer à sa nouvelle logique de gestion les différents partenaires avec lesquels elle travaille (fournisseurs, sous-traitants). La solution consiste alors à étendre à l'extérieur de l'entreprise le *modèle de coopération* qui se développe dans l'entreprise. L'extension de ce décloisonnement au niveau des frontières mêmes de l'entreprise permet de tendre vers la réalisation d'un objectif commun : la lutte contre le gaspillage. Dans ce nouveau contexte organisationnel, les nouvelles relations client-fournisseur ou donneur d'ordres-sous-traitant doivent être marquées par une *confiance mutuelle* traduisant la volonté d'établir une relation de partenariat. Selon les praticiens<sup>1</sup>, le partenariat peut être défini comme un « *mode de coopération durable entre un client et son fournisseur ou sous-traitant, dépassant le cadre des rapports commerciaux habituels, ayant pour objectif l'amélioration de la prestation au client final conjointement à l'augmentation de la compétitivité des deux entreprises partenaires* ». Donc, le partenariat, à l'image de ce qui se passe dans l'entreprise japonaise, apparaît bien comme un mode de coopération ou de collaboration (entre entreprises non concurrentes) qui tend à se substituer aux rapports de force traditionnels. L'efficacité de ce type de démarche résulte d'un double niveau d'intégration :

- une intégration de nature technique : elle prend la forme de transferts de savoir-faire entre donneur d'ordres et sous-traitant, de consultations mutuelles dans le choix des équipements, de prêts de capitaux, d'assistance conseil en cas de difficultés... Au-delà des aspects techniques de la production, cette intégration prend aussi de plus en plus la forme d'une architecture informatique commune aux

1. *Management et logistique*, op. cité.

différents partenaires afin de faciliter le transfert et le partage des informations. On parle alors de *quasi-intégration électronique des transactions* ;

- une intégration d'origine organisationnelle et sociale : elle se concrétise par la mobilité des hommes et des informations entre les entreprises, sur l'organisation de séminaires de formations communs aux deux partenaires, le prêt de personnel ou de capitaux... Cette intégration résulte du *passage d'une logique transactionnelle à une logique relationnelle* (cf. chapitre 6 sur la logistique).

Ce partenariat global repose sur la constitution d'un réseau d'entreprises que l'on qualifie aussi de quasi-firme, d'entreprise creuse, de constellation d'entreprises. Il s'agit en fait d'une situation de quasi-intégration, sachant qu'il ne peut pas y avoir intégration puisque les entreprises sont juridiquement indépendantes, et que l'on est bien au-delà d'une simple transaction sur le marché puisque des relations privilégiées se créent avec les fournisseurs (partenariat basé sur la confiance notamment). Cette architecture permet aux différentes entreprises de développer entre elles d'étroites relations basées à la fois sur la confiance et sur la durée. La confiance mutuelle reflète le climat de collaboration qui s'est instauré. Elle traduit aussi l'atténuation de l'effet de domination du donneur d'ordres sur le sous-traitant. La durée de la relation est quant à elle implicitement garantie par le fait que le donneur d'ordres travaille avec un nombre réduit de sous-traitants qu'il a préalablement sélectionnés, notamment sur la base de critères de qualité. L'établissement de ce type de relations permet de travailler selon le principe de la « commande ouverte<sup>1</sup> ». Le donneur d'ordres n'a plus besoin de passer par l'intermédiaire du service achat à chaque commande. Sur la base de prévisions de quelques semaines, ce sont directement des confirmations de livraisons fermes qui sont envoyées au sous-traitant. Cette méthode permet au sous-traitant de disposer des prévisions de vente de son donneur d'ordres et ainsi d'ajuster au mieux ses plannings de production. De plus, il répond mieux à l'impératif de maîtrise des délais (circuit administratif raccourci).

La structure en réseau, ainsi qu'un certain nombre de règles qui président à son fonctionnement, ne sont pas sans rappeler le modèle d'organisation japonais dit *modèle structuré* (Y. Lecler, 1992). L'efficacité globale de ce type de structure de nature pyramidale est liée au développement d'une quasi-rente organisationnelle au profit des membres du réseau. Par opposition, le modèle français, et plus généralement occidental, apparaît traditionnellement comme *non structuré*. Il est caractérisé notamment par le nombre important de sous-traitants dépendant du donneur d'ordres. Les relations de court terme sont formalisées par un contrat (l'écrit s'impose car la multiplication du nombre de sous-traitants et la nature ponctuelle des relations ne favorisent pas le développement de la confiance). Enfin, la dépendance exercée par le donneur d'ordres est moins forte car les sous-traitants n'établissent que rarement des relations de nature exclusive (c'est généralement le cas au Japon, comme l'illustre le célèbre exemple de Toyota).

---

1. A. Courtois, C. Martin-Bonnefous *et alii*, op. cité.

### 4.3 Les évolutions actuelles et l'influence croissante des nouvelles technologies de l'information

Afin de conclure sur l'évolution des stratégies de partenariat, deux remarques peuvent être faites :

- Le développement d'une organisation intégrée est aujourd'hui largement facilité par le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication. Le partage des informations, leur transfert et leur traitement peuvent aisément être orchestrés autour d'une architecture informatique commune à l'ensemble des entreprises du réseau. Le développement de nouvelles modalités de *fabrication de type synchrone* que l'on retrouve aujourd'hui en particulier dans la branche automobile, illustre par exemple la volonté des entreprises de ce secteur de voir croître le degré d'intégration entre ses partenaires industriels et le client lors de la fabrication. Le principe d'une production synchrone consiste à *livrer le client en temps réel et dans l'ordre du besoin de sa demande*. L'intérêt de ce système est de permettre aux fournisseurs et sous-traitants de l'entreprise de réagir à la forte différenciation du produit ainsi qu'à l'élargissement et l'approfondissement de la gamme de façon synchrone, sans perte de temps et en minimisant les stocks.

## REPÈRES

Chez Citroën Aulnay, les véhicules défilant sur les chaînes déclenchent une commande automatisée par *kanban* électronique par l'intermédiaire de l'EDI auprès de certains équipementiers (notamment Bertrand Faure) qui préparent la commande. Un prestataire spécialisé (GEFCO) connecté lui aussi par EDI livre ensuite l'élément en flux tendus au lieu et au moment de son besoin sur la chaîne.

Parallèlement à la production synchrone, le *système RECOR* (renouvellement de consommation réelle) adopté chez Peugeot dans le domaine des pièces de rechange, permet à l'entreprise de se doter d'un système d'approvisionnement en JAT présentant un double avantage en terme de satisfaction du client et de réduction des coûts. Il se fonde sur le fait que la consommation d'un conteneur de pièces (donc un déstockage) génère *automatiquement* un ordre de renouvellement au fournisseur. Celui-ci doit livrer les pièces après un délai fixe appelé temps de retour selon le principe des flux tirés. À chaque container est associée une carte informatique qui l'identifie. Dès qu'un container est entamé, l'approvisionnement est immédiatement et automatiquement déclenché par l'intermédiaire d'un mouvement informatique qui émet un ordre de renouvellement.

Par rapport à un mode d'approvisionnement planifié (à flux poussés) basé sur des estimations prévisionnelles de la demande à partir de l'historique des ventes, le système RECOR privilégie le principe de la réalité physique de consommation

(remplacement d'un conteneur vide par un plein). Les erreurs de planification, les ruptures d'approvisionnement, les stocks... sont éliminés et la production est donc rationalisée par une intégration et une simplification du système d'information sur la base de l'informatisation. (B. Delhomme et V. Benoit, 1998).

Cette intégration électronique donne de plus en plus souvent naissance à des *entreprises virtuelles* qui conservent leur indépendance juridique mais dont l'intégration passe par le développement d'une architecture informatique qui les interconnecte étroitement.

## REPÈRES<sup>1</sup>

Afin de concurrencer Intel, IBM, Motorola et Apple ont créé une structure virtuelle chargée de la conception et de la fabrication de la famille de microprocesseurs Power PC. IBM a apporté sa capacité de production de semi-conducteur, Motorola son expérience en conception de puces et Apple ses compétences d'intégration de matériel et de logiciel, le tout en assurant un débouché commercial.

Benetton est une entreprise constituée de près de 1 000 sociétés. 90 % de la production est confiée à 450 sous-traitants de la région de Trévise (Vénétie). La distribution est assurée par 7 000 boutiques indépendantes rassemblées par zones géographiques sous la responsabilité d'un peu moins de 100 agents autonomes, et les modèles sont conçus par des designers free-lance. L'ensemble est coordonné par un vaste réseau informatique.

De même, toujours en Italie, Aprilia conçoit et assemble des motos dont les composants sont fabriqués par un réseau de 250 PME locales. Cela lui permet de produire 300 000 unités par an avec seulement 750 salariés en propre.

1. *Les Échos Industrie*, 1999.

- D'un point de vue plus général, le partenariat industriel n'est pas le résultat d'une simple standardisation des méthodes de travail mais il découle d'une double évolution. Il s'agit tout d'abord d'une reconfiguration de nature organisationnelle et institutionnelle car la coopération se traduit par la désintégration des frontières de l'entreprise. Certains auteurs qualifient alors ce modèle de production de modèle « intégré-désintégré ». En effet, les impératifs que sont la flexibilité, l'innovation, la qualité, les délais... ne peuvent trouver un champ d'application efficace que si l'entreprise associe étroitement à leur réalisation l'ensemble des intervenants situés en amont et en aval. Il faut donc pour cela intéresser le fournisseur à la démarche de l'entreprise et lui montrer comment lui-même peut en tirer un intérêt. Mais pour cela, une seconde évolution s'impose. Elle est de nature culturelle et s'illustre à travers le rôle primordial joué par la confiance et le développement

d'un certain degré de symétrie dans les relations. Concrètement, ces deux évolutions supposent d'inclure dans la démarche productive de l'entreprise les principales préoccupations de ses partenaires extérieurs (difficultés financières liées à des investissements dans des équipements, problèmes de formation...).

Les outils du JAT qui permettent de lutter activement contre les différentes formes de gaspillage (TPM, 5S, SMED, gestion par les contraintes, méthodes de gestion de la qualité...) ne doivent donc pas être considérés simplement sous leur aspect instrumental. Ils supposent, pour être efficaces, d'introduire des innovations au sein de l'organisation dans son ensemble, afin de tendre vers la globalisation du processus de production, vers le développement d'une communauté d'intérêt et vers le partage de ressources.

### ► **Conclusion : la gestion des processus au cœur du JAT**

La compétitivité de l'entreprise moderne résulte d'un habile arbitrage entre des techniques de gestion simples, souvent issues du bon sens mais rigoureuses, et des innovations technologiques susceptibles de répondre à l'impératif de modernisation des équipements productifs. Un principe de base consiste à dire que c'est la simplification des méthodes de gestion qui doit conditionner les investissements technologiques de l'entreprise<sup>1</sup>. Mais résumer la compétitivité à ces deux éléments est un peu simpliste et dangereux. En effet, les changements intervenus depuis deux décennies (intensification de la concurrence, exigences de la clientèle en terme de qualité, délais et coûts...) conduisent à remettre en cause les modalités de production et à rajouter une nouvelle variable au mode de régulation de l'entreprise : *la gestion des processus*.

Traditionnellement, la fragmentation des modalités de la production et la spécialisation des acteurs<sup>2</sup> offraient une réponse organisationnelle opportune face aux évolutions de l'environnement et à la montée de la complexité. Un mode de gestion local devait être adopté dans l'entreprise. Il était susceptible de générer des optima locaux, puis, par simple agrégation, un optimum global. Depuis deux décennies, face à la montée de la complexité, la réponse qui convient est axée au contraire sur la gestion des processus.

Elle privilégie une démarche *transversale* dans l'entreprise et remet donc en cause une organisation de type fonctionnel et vertical. La représentation que l'on a de l'entreprise est une représentation par flux, sachant qu'ils traversent l'entreprise de façon continue et qu'ils contribuent ainsi à déverrouiller les systèmes d'accès à chaque service. La représentation de l'entreprise moderne doit être celle d'une organisation transfonctionnelle, structurée sur la base d'*objectifs intégrateurs*, nécessitant l'implication de tous les acteurs de l'entreprise. Cette *vision globale* passe nécessairement dans une première étape par la détermination de ces différents objectifs, des processus et des acteurs qui y participent.

1. P. Béranter, 1995.

2. V. Giard, *Gestion de la production et des approvisionnements*, janvier 2001 (à paraître).

Mais elle conduit aussi dans une seconde étape à l'introduction de modalités particulières de gestion du changement. Le *kaizen*, en prenant en considération le rôle joué par les processus dans l'entreprise, à travers le développement d'objectifs intégrateurs, permet la mise en œuvre du JAT dans des conditions optimales. En effet, les progrès réalisés dans le domaine de la maintenance, de la gestion des flux, de la qualité... sont obtenus par la recherche progressive et l'élimination continue des différentes sources de gaspillages. Donc, à côté des évolutions des techniques de gestion et de la technologie elle-même, une large place doit être faite à la gestion des processus et à la gestion du changement.

### Thèmes de réflexion

- 1 – Pourquoi le JAT apparaît-il pour H. Mollet comme « un système d'une fallacieuse simplicité ? » (correction page 447)
- 2 – Pourquoi peut-on qualifier le système de production actuel de système intégré-désintégré ? (correction page 447)
- 3 – Quelles sont les conditions de base à la transférabilité du modèle TPS en Occident ?
- 4 – Définir la notion de « tension des flux ». En quoi cette modalité de gestion des flux participe-t-elle à la simplification du système d'information de production ?
- 5 – Quelles difficultés se posent à l'entreprise lorsqu'elle met en œuvre la TPM ?
- 6 – Après avoir défini avec précision la notion de reengineering, donner des exemples d'entreprises ayant adopté ce mode de gestion du changement. Quels avantages le reengineering présente-t-il par rapport au *kaizen* et quelles sont ses limites ? Ces deux approches sont-elles alternatives ou complémentaires ?

### Exercices

#### Exercice 1 – Calcul du Taux de rendement global

Au sein de l'entreprise Naultre, l'atelier d'emboutissage utilise une presse dont le rendement horaire indiqué par le constructeur est de 50 pièces à l'heure. Cet atelier travaille chaque jour pendant 10 heures et on a constaté qu'en moyenne :

- le temps d'ouverture de la presse était de 9 heures ;
- les changements de série, les pannes et les réglages durent 1 heure ;
- la production est de 300 pièces par jour ;
- on considère des mois de 20 jours ouvrés ;
- la cadence effective de la presse est inférieure de 20 % à celle annoncée ;
- chaque jour, 30 pièces défectueuses irrécupérables sont produites puis mises au rebut.

1. Déterminer le TRS.
2. Comment améliorer ce ratio, finalement assez faible ?

### Exercice 2 – Calcul du nombre de *kanbans*

Dans une usine fabricant des instruments de mesure de haute précision, le processus productif se décompose en une succession de nombreuses tâches complexes, où la main-d'œuvre qualifiée joue un rôle fondamental. Les responsables de l'organisation de la fabrication ont décidé de faire fonctionner les premières étapes du cycle productif en MRP et les dernières étapes en flux tirés, afin de répondre le mieux possible à la demande des clients (par exemple, personnalisation des appareils selon la nationalité du client) et d'éviter la constitution de stocks excessifs. Nous allons étudier le fonctionnement des deux derniers postes de travail et tenter de définir le nombre optimal de *kanbans*.

Pour la semaine prochaine, les services commerciaux ont prévu une demande quotidienne de 120 instruments. Ces derniers sont méticuleusement stockés dans des bacs en plastique, à raison de 10 par bac. On fait l'hypothèse que l'avant-dernier poste dispose de bacs en quantité suffisante, pour ne pas être tributaire du retour des bacs du poste suivant ; chaque week-end, les bacs vides sont transportés du dernier poste vers le précédent. La journée type a une durée de 8 heures. Par ailleurs, après avoir effectué préalablement quelques mesures, vous savez qu'en moyenne :

- le temps de transit du *kanban* entre les deux postes est de 5 minutes ;
- le temps de transport du bac plein jusqu'au dernier poste est de 10 minutes ;
- le temps d'attente du *kanban* sur le planning du poste amont est de 5 minutes ;
- la durée de l'opération de préfinition réalisée par l'avant-dernier poste de travail sur un instrument est de 3 minutes ;
- le temps de réglage des équipements est de 35 minutes (le réglage est réalisé très tôt le matin par une équipe spécialisée, avant que la journée de production ne débute) ;
- le temps d'enlèvement des bacs dans le poste amont est de 15 minutes ;
- le temps d'enlèvement des *kanbans* dans le poste aval est de 15 minutes ;

1. Calculer le nombre optimal de *kanbans* dans les situations suivantes :

- a - simplement avec les éléments précédents ;
- b - en considérant que le temps de cycle suit une loi normale dont on connaît la moyenne et dont on pense que l'écart type est voisin de 10 minutes ;
- c - en considérant que la production est plus rentable lorsque des lots de 40 instruments de mesure sont traités.

2. Si le responsable de la fabrication arrivait, par des efforts de rationalisation, à diminuer de moitié le temps de cycle (hors durée de l'opération de préfinition), quel en serait l'impact sur le nombre optimal de *kanbans* ?

Dans l'industrie automobile, comme dans de nombreux autres secteurs, le service après-vente est un puissant vecteur de fidélisation du client. En 1997, le groupe Ford lance le programme « Succès », visant à améliorer le service en organisant toutes les activités du concessionnaire autour de la *satisfaction du client* : réduction des délais d'intervention sur les véhicules, étalement des rendez-vous, accueil possible sans rendez-vous, « services rapides » etc. Ainsi, pour éviter ou limiter les encombrements traditionnels du matin chez le concessionnaire, ces derniers ont fortement encouragé les clients à prendre rendez-vous l'après-midi. Cela a contribué à décaler vers le milieu et la fin de journée un nombre important de commandes dites « urgentes ». Le centre logistique fournisseur des pièces détachées a donc été contraint d'apprendre à traiter ces commandes de plus en plus tard, alors que les contraintes géographiques étaient incompressibles et que les contraintes réglementaires s'accroissaient (réglementation plus sévère du transport routier).

Cet exemple illustre parfaitement les principaux problèmes que l'on rencontre en s'intéressant à la logistique. Tout d'abord, l'entreprise qui désire améliorer son fonctionnement global doit considérer l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en ne négligeant aucun maillon. Si l'entrepôt n'est pas capable de suivre le nouveau rythme de travail des concessions ou si ces dernières ne tiennent aucun compte des contraintes qui pèsent sur l'entrepôt et les transporteurs, les résultats ne pourront pas être au rendez-vous. La logistique est donc un vecteur d'intégration puissant et la mise en œuvre d'un management rigoureux de la *supply chain* traduit une préoccupation quasi générale dans le domaine [section 1].

Cette illustration traduit aussi le fait que toute démarche ECR (Efficient Consumer Response) visant à améliorer la satisfaction du client, par exemple par des délais raccourcis, passe inévitablement par une analyse et une reconfiguration du schéma logistique. Selon les professionnels, une plus grande collaboration entre les différents acteurs de la chaîne logistique constitue aujourd'hui un réservoir important de création de valeur [section 2].

Les contraintes géographiques étant immuables, il revient aux entreprises de trouver les moyens techniques pour réaliser des objectifs commerciaux de plus en plus exigeants. L'utilisation de standards de communication, tels que l'EDI, permet d'accélérer la vitesse de circulation et la sécurité des flux d'information. L'usage d'étiquettes munies de codes à barres et de terminaux portables avec scanners assure une plus grande fluidité à la chaîne d'approvisionnement et autorise la traçabilité. Les schémas logistiques ne sont pas figés et la *supply chain* s'organise aujourd'hui fréquemment sur la base d'un réseau complexe d'entrepôts et de plates-formes [section 3].

Enfin, l'influence d'Internet et de ses dérivés, tels que les extranets, les places de marché et les sites de e-commerce, sera évoquée sous le double éclairage du B-to-B et du B-to-C<sup>1</sup> [section 4].

---

Section 1	■	Vers une approche intégrée et stratégique de la logistique
Section 2	■	La logistique dans le cadre de l'ECR
Section 3	■	Standards et infrastructures au service de la logistique
Section 4	■	La logistique à l'heure d'Internet

---



## VERS UNE APPROCHE INTÉGRÉE ET STRATÉGIQUE DE LA LOGISTIQUE

Après avoir brièvement évoqué les définitions passées et présentes de la logistique, nous nous attacherons à mettre en évidence le caractère intégrateur de cette fonction. L'étude de la notion de *supply chain management* nous y aidera.

---

1. B-to-B signifie *business to business*, c'est-à-dire évoque les relations d'entreprise à entreprise, alors que B-to-C signifie *business to consumer* et correspond aux relations commerciales entre les entreprises et les consommateurs.

# 1 Historique et définitions

## 1.1 Historique

Si le terme de logistique est ancien, le concept appliqué à la gestion de l'entreprise est lui plus récent puisqu'il date d'une cinquantaine d'années. À l'époque d'Aristote, le terme *logistikos* désignait l'apport du calcul et des mathématiques au raisonnement logique. La logistique trouve en fait véritablement sa source et sa dimension fondamentale dans l'histoire militaire. En effet, elle a toujours constitué un sujet de préoccupation majeur pour les grands chefs militaires. Ainsi, Sun Tzu (IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C.) met en avant la nécessité de disposer de chariots et de denrées que les armées doivent transporter. « *Une armée sans chariots d'approvisionnement, ni céréales, ni provisions, est perdue*<sup>1</sup>. » Au contraire, Alexandre le Grand (356-323 avant J.-C.) décide de mettre le feu à tous ses chariots avant de partir pour les Indes et ceci afin d'alléger son armée. La légion romaine consacre la prise en compte de la dimension logistique. Jules César créa la fonction de *logista* en attribuant à un officier la tâche de précéder les mouvements des légions afin d'organiser les campements.

Mais au cours des âges, si la nécessité de maîtriser les flux apparaît comme une évidence, les solutions apportées à la question logistique furent diverses et plus ou moins couronnées de succès. Richelieu, qui prit en 1635 le titre de Grand Maître général des munitions, des magasins et ravitaillement de France, soulignait d'ailleurs l'ampleur de la tâche en présentant l'organisation générale des subsistances des armées comme de la « magie blanche »<sup>2</sup>. Au XVII<sup>e</sup> siècle, sous le règne de Louis XIV, l'importance de la fonction logistique est clairement affirmée. « *L'art de la guerre, c'est l'art de subsister* » pour Vauban.

Si l'impératif logistique apparaît comme une évidence au fil du temps et des guerres, l'emploi du terme lui-même reste relativement récent. En effet, l'utilisation du terme « logistique » au sens où on l'entend désormais (terme français résultant étymologiquement du verbe « loger ») remonte au début du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>3</sup>. Il a fallu attendre 1938 pour voir apparaître explicitement ce terme dans le langage militaire. L'ouvrage du général Antoine Jomini, *Précis de l'art de la guerre*, y fait référence dans un sens assez étroit, en tant que lieu de l'affrontement. Son sens se généralisera au transport et au ravitaillement des armées, conception qu'empruntera largement le domaine de la gestion.

Le terme logistique n'a été appliqué à la gestion d'entreprise qu'au début des années 50. L'influence de la Deuxième Guerre mondiale consacre le rôle majeur joué par la fonction logistique. Le général Eisenhower, qui dirigea le débarquement

1. Sun Tzu, *L'Art de la guerre*, (VII-50), Bibliothèque Stratégique, Paris, Économica, 1990.

2. *Stratégie Logistique*, décembre 2000, n° 32.

3. M. Journet, « Évolution de la logistique des entreprises industrielles et commerciales », *Revue Annuelle des Élèves des Arts et Métiers*, Paris, Dunod, 1998.

de 1944 en Normandie dira d'ailleurs : « *Il n'y a pas de tactique sans logistique. Si la logistique dit non, c'est qu'elle a raison.* » Les chefs d'entreprises américains ont perçu le débarquement allié sur les côtes françaises comme l'illustration du modèle logistique par excellence. À partir de là, une vague logistique se développe aux États-Unis. La logistique semble en effet pouvoir répondre à toutes sortes de questions relatives à la rationalisation des flux dans l'organisation et entre organisations. La première association américaine de logistique est créée en 1962. Il s'agit du National Council of Physical Distribution Management. Progressivement, les membres du NCPDM ont rajouté la gestion de toutes les matières (*materials management*) à leur préoccupation initiale. Ils ont intégré les relations amont-aval à leur conception de la logistique, allant même jusqu'à y inclure aussi les décisions de production et d'implantation des établissements. En 1986, le NCPDM est devenu *le Council of Logistics Management (LM)*. En France, c'est l'ASLOG (Association française pour la logistique) qui veille au développement de la logistique dans un cadre structuré et cohérent.

## 1.2 Définitions

Ce n'est que récemment que la logistique est devenue un élément important de la stratégie d'entreprise. En 1981, le dictionnaire Le Grand Robert définissait encore la logistique comme un terme appartenant au vocabulaire militaire. C'était « *l'art de combiner tous les moyens de transport, de ravitaillement et de logement des troupes.* » Les enseignements universitaires de la logistique ne sont apparus que dans les années 50 aux États-Unis et en 1970 en France. Désormais, les perspectives sont différentes. En effet, on attribue à la logistique un rôle « d'interface » au sein de l'entreprise et entre entreprises sachant que la gestion des interfaces est devenue un enjeu stratégique majeur.<sup>1</sup>

Si la définition de la logistique a largement évolué au cours du temps, une première définition peut être empruntée à l'ASLOG. Ainsi, le domaine de la logistique recouvre toutes les actions de planification, de mise en œuvre et de contrôle qui concernent l'ensemble des flux physiques de marchandises et des flux d'informations qui s'y rapportent. D. Tixier, H. Mathé et J. Colin proposent une définition complémentaire et relativement extensive de la logistique. « *La logistique est le processus stratégique par lequel l'entreprise organise et soutient son activité. À ce titre, sont déterminés et gérés les flux matériels et informationnels afférents, tant internes qu'externes, qu'amont et aval.* » Ils poursuivent leur définition en précisant la mission de la logistique, c'est-à-dire « *permettre l'élaboration de l'offre de l'entreprise et réaliser la rencontre avec l'offre de marché, tout en recherchant systématiquement les conditions d'optimalité dans l'exécution. Sa mise en œuvre procédant des différents acteurs, elle est appelée à gérer en ce sens les tensions existantes à leurs interfaces du fait de la non identité de leurs objectifs propres* ». Une

1. D. Tixier, H. Mathé, J. Colin, 1996.

version un peu écourtée de cette définition conduit à retenir que la logistique vise à « assurer au moindre coût la coordination de l'offre et de la demande, aux plans stratégique et tactique, ainsi que l'entretien à long terme de la qualité des rapports fournisseurs-clients qui la concernent ».

Enfin, selon le Council of Logistics Management, la logistique « *est la partie du processus de la supply chain qui planifie, met en œuvre et contrôle l'efficacité et le bon fonctionnement des flux et stockage de produits, et des informations qui leur sont liées depuis le point d'origine du produit jusqu'à son point de consommation, en vue d'une satisfaction complète et maîtrisée des besoins du client* ».

La coordination nécessite des échanges d'information de façon croissante. Cela conduit à concevoir la logistique comme un processus par lequel l'entreprise gère l'ensemble de ses échanges d'information et des éléments physiques qui en résultent avec son amont et son aval (D. Tixier, H. Mathé et J. Colin, 1996). La dimension stratégique résulte du fait que l'entreprise se repose sur la logistique pour atteindre ses propres objectifs. Les sources de la compétitivité se trouvent notamment dans la gestion de l'interface producteur-distributeur. Enfin, il faut noter que la logistique désigne la gestion des flux dans toutes les phases de la vie du produit au sein de l'entreprise. C'est donc une acception globale de ce terme qu'il faut privilégier afin de couvrir à la fois la dimension logistique de flux et logistique de soutien.

## 2 La logistique, une fonction au cœur de la création de valeur

### 2.1 Les facteurs favorables à l'intégration par la logistique

À partir des années 70, le système de production fordiste laisse progressivement la place au modèle toyotiste. La gestion en flux tendus suppose des contrôles qualité d'un type nouveau et exige des formes de coopération très étroites entre les acteurs de l'entreprise et entre les différents partenaires que sont les sous-traitants et les fournisseurs. Cette intensification des relations entre fonctions et entre firmes favorise progressivement le développement d'une « chaîne logistique ». Sur la base d'une forte intégration des processus de gestion des flux physiques et immatériels, c'est une nouvelle structure productive qui s'organise.

La réorganisation du système logistique vers plus d'intégration et de flexibilité trouve sa source dans une combinaison de facteurs :

- le passage à une économie mondiale qui se traduit concrètement pour l'entreprise par une évolution de son environnement, l'« Europe continent » devenant une « Europe village » (D. Estampe et V. Tsapi, 1998) ;
- le phénomène d'externalisation des activités de l'entreprise joue aussi un rôle important. Ce phénomène n'est pas nouveau puisqu'il date des années 50 : à l'époque, l'industrie automobile passe d'une fabrication à 100 % de ses composants à une sous-traitance massive. La question est donc de savoir aujourd'hui comment gérer et coordonner cette sous-traitance ;

- une autre logique interne conduit aussi à « décloisonner » les fonctions qu'elle regroupe, ainsi qu'à effacer ses propres frontières afin de répondre à cet environnement global par un processus de production lui-même intégré ;
- enfin, le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) permet à l'entreprise de disposer d'outils susceptibles de mieux maîtriser l'ensemble de sa chaîne de valeur, et d'assurer, dans la transparence, la gestion intégrée d'activités logistiques externalisées. Le développement des ERP (Enterprise Resources Planning) ou bien de la SCM (Supply Chain Management) illustre bien cette évolution du système de pilotage de l'entreprise. D'un système de gestion destiné avant tout à satisfaire les besoins et les fonctions internes, l'entreprise évolue vers un système toujours plus ouvert sur les partenaires afin de satisfaire les attentes des clients.

La nécessité d'une *vision globale des processus* place la logistique au cœur de l'entreprise. L'accent est mis ici sur l'importance stratégique que revêt l'information, au sein d'une entreprise étendue, dont le système logistique évolue vers un degré d'intégration croissant. La mondialisation semble faire de la logistique un facteur majeur de compétitivité, et ce à travers le rôle joué par les NTIC. Cette dynamique qui caractérise la fonction logistique peut être résumée par les quatre étapes suivantes, comme l'indique la figure 5.1 :

- exécution des opérations physiques d'entreposage et de transport (années 50 et 60),
- pilotage des flux physiques de production et de distribution : dimension opérationnelle sur du court terme (années 70 et début des années 80),
- planification des flux intégrant les approvisionnements, la production et la distribution : dimension tactique de moyen terme (milieu des années 80 et décennie 90),
- intégration et optimisation globale des flux de matières et d'informations sur la totalité de la chaîne d'approvisionnement des fournisseurs aux clients finaux : fonction stratégique et dimension transversale dans le cadre du Supply Chain Management ou de la chaîne d'approvisionnement intégrée (années 2000).

Le concept de la *chaîne de valeur* de Porter informe aussi sur la dimension stratégique prise par la logistique. En effet, ce concept éclaire l'entreprise sur sa capacité à développer un avantage compétitif sur le marché. Cet avantage ne peut pas être acquis sur l'ensemble de ses activités mais sur une partie seulement (l'autre partie étant alors externalisée ou abandonnée). Les activités principales de la chaîne de valeur (par opposition aux activités de soutien) comprennent la logistique interne, la production, la logistique externe, le marketing, la vente et le service après vente.

La recherche de l'avantage compétitif et son maintien supposent la mise en place de stratégies génériques qui sont la domination par les coûts, la différenciation, ou la concentration (focalisation). Le concept de la chaîne de valeur permet donc à l'entreprise de valoriser son avantage compétitif soit en contrôlant ses coûts logistiques (domination par les coûts) soit en améliorant les spécificités du service offert au client (stratégie de différenciation). Ces deux stratégies génériques contribuent à augmenter la valeur ajoutée de l'entreprise, donc sa compétitivité.

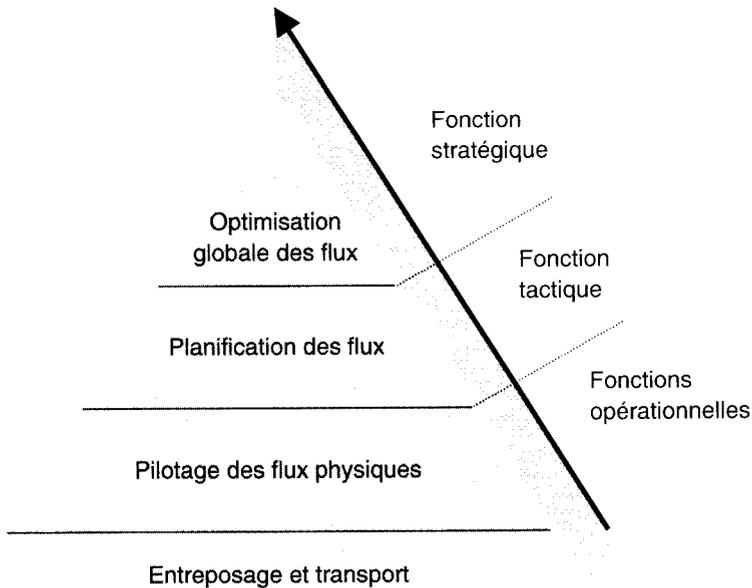


Figure 5.1 : Évolution vers la dimension intégrée et stratégique de la fonction logistique

## 2.2 De l'externalisation au « 4PLs »

### ► *La pratique de l'externalisation pousse les transporteurs à devenir des intégrateurs*

Pour de multiples raisons, le rôle du transporteur s'est considérablement accru au fil des années. La volonté des entreprises de passer en flux tirés ou tendus, les exigences de qualité, les pratiques de différenciation retardée et la vente sur Internet ont poussé les transporteurs à proposer de plus en plus de services à leurs clients et à devenir ce que l'on appelle des « intégrateurs ».

Pour une entreprise, industrielle ou commerciale, confier sa logistique à un intégrateur peut présenter de nombreux avantages ; la liste suivante n'est pas exhaustive :

- l'entreprise peut se concentrer sur son cœur de métier ;
- en s'adressant à un spécialiste possédant un réseau de transport (flotte de camions, entrepôts de stockage, plates-forme, etc.) l'entreprise peut connaître une amélioration du niveau de service et des délais de livraison ;
- elle bénéficie d'une plus grande transparence de la chaîne logistique ; par exemple, le suivi des colis est facilité par l'usage d'Internet (aujourd'hui, tous les grands transporteurs le proposent : DHL, Chronopost, Federal Express, TNT, UPS) ;
- l'entreprise peut pénétrer sur de nouveaux marchés sans avoir à investir massivement dans des infrastructures et dans l'organisation de la chaîne logistique ;

- lorsqu'il s'agit de transports internationaux, l'intégrateur peut se charger de certaines formalités liées aux passages des frontières (documents d'exportation et de dédouanements, calculs des commissions... pour tous les transports UE-pays hors UE).
- en fonction de ses compétences et de sa connaissance du marché, le logisticien sera mieux à même de réaliser certaines tâches (de personnalisation, d'assemblage...);

## REPÈRES : Les solutions différenciées de DHL

DHL, un des grands du transport express, propose aux entreprises qui souhaiteraient externaliser transport et stockage plusieurs solutions logistiques, choisies selon leurs besoins. Par exemple, on trouve les programmes appelés Strategic Inventory Management (SIM) et Direct Express Inventory (DEI).

- Afin de promouvoir la qualité du service et donc de respecter les engagements pris à l'occasion de contrats de maintenance prévoyant des délais d'approvisionnement très courts, les industriels doivent réagir rapidement à la demande de leurs clients. En mettant à la disposition des industriels plusieurs lieux de stockage (un stock central et plusieurs stocks satellites), le programme SIM s'engage à livrer les pièces critiques dans un délai maximum de 4 heures. La société DHL, interlocuteur unique de l'industriel, organise ce service 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. À titre d'exemple, DHL gère grâce à Internet le service après-vente de Hewlett-Packard. En cas de panne, les clients de ce dernier téléphonent directement au centre d'appels de DHL.
- Le programme DEI permet de simplifier et de rendre plus efficace le lancement d'un nouveau produit sur le plan logistique. Pour le compte du producteur, DHL assure un stockage optimal, garantissant la disponibilité des produits. Le site Internet de DHL précise que « *DHL met à la disposition de ses clients un stock central principalement pour les produits finis et les pièces détachées. Implanté dans les zones stratégiques des grands pôles économiques, ce stock central offre une prestation complète d'entreposage et de gestion de stocks pour la distribution directe vers les clients finaux. Les produits peuvent également y être personnalisés, configurés ou assemblés, avant distribution selon les besoins du client final, par des équipes DHL spécialement formées* ».

### ► Le concept de 4PLs (Fourth Party Logistics<sup>1</sup>) ou vers une « super-intégration » des entreprises

Dans le prolongement des paragraphes précédents, on constate aujourd'hui que l'utilisation croissante des technologies de l'information et la complexité fréquente des chaînes logistiques conduisent certains acteurs (notamment les industriels,

---

1. Ce terme vient des États-Unis ; il signifie que des entreprises deviennent le 4<sup>e</sup> maillon intermédiaire entre l'entreprise cliente, l'ensemble de ses prestataires et son marché.

logisticiens, et distributeurs) à souhaiter la création d'un nouveau type d'entreprise, qui soit capable de piloter l'ensemble des flux physiques et informationnels de son client. Ce « super intégrateur », appelé 4PLs, devrait être l'unique interface entre le client et tous les prestataires concernés. Il est chargé de trois missions principales :

- améliorer la *supply chain* existante (activités de réingénierie),
- piloter la nouvelle *supply chain*,
- procéder à l'intégration et à la coordination de la logistique et du transport.

L'objectif de ce nouveau métier est d'améliorer le service offert au client par une plus grande intégration de toutes les prestations nécessaires au fonctionnement optimal de la chaîne logistique globale. L'interlocuteur 4PLs réalisera pour le compte du client la réunion des compétences du logisticien (ou des multiples prestataires), de l'éditeur du logiciel utilisé, de la société de conseil, etc. Pour que cette organisation originale soit créatrice de valeur ajoutée pour le client, il semble nécessaire de l'envisager plutôt comme un partenariat que comme une prestation pure et simple de services.

Les grands du transport européen cherchent aujourd'hui à répondre à la demande des industriels et des distributeurs en se positionnant comme des 4PLs de façon plus ou moins explicite. Pour cela, ils font porter leurs efforts sur la maîtrise des systèmes d'information qu'ils proposent à leurs clients. Ainsi, Hays Logistics a récemment créé une division, appelée 4PS (Fourth Party Solutions), dont l'objectif est de proposer à ses clients des solutions de *supply chain* totalement intégrées, et de préférence collaborative. Une alliance avec i2 Technologies permet de bénéficier du savoir-faire d'un des leaders dans le domaine de la *supply chain*. Dans une même optique, Géodis Logistics a fait appel à IBM Global Services pour développer une plateforme d'échanges EDI et à Manugistics pour des progiciels de pilotage de la *supply chain*. Géodis a ensuite procédé à l'assemblage de ces solutions afin de proposer à ses clients une solution homogène et intégrée. Il serait possible de multiplier les exemples car de très nombreux logisticiens, globaux ou spécialisés dans un secteur d'activités, se tournent vers ce type de croissance.

## **REPÈRES :** L'intégrateur collabore avec l'entreprise : l'exemple de l'accord Ford-UPS

Le 2 février 2000, Ford a conclu un accord stratégique avec UPS Logistics Group (filiale d'UPS) afin de ramener le délai de livraison des véhicules de 14 à 8 jours. Cette alliance couvre la totalité de la gamme et concerne trois pays, les USA, le Canada et le Mexique. Pour atteindre l'objectif fixé par le constructeur, UPS Logistics se propose de rationaliser la distribution des véhicules dès leur sortie usine jusqu'aux concessionnaires. UPS, en véritable acteur 4PLs, modifiera le système d'information de Ford et coordonnera tous les transporteurs ayant des contrats de distribution (une centaine) à partir d'une cellule de pilotage conjointe Ford-UPS.

### ► *Les limites de l'intégration*

Si la compétitivité exige à n'en pas douter un certain niveau d'intégration, les pratiques évoquées ci-dessus, où l'on tend vers une intégration maximale, divisent l'opinion des chercheurs et des praticiens. Les avis sont partagés et de nombreux industriels n'envisagent pas d'offrir à leurs prestataires logistiques des activités autres que celles qu'ils possèdent traditionnellement, c'est-à-dire le transport et le stockage. Notamment parce que les entreprises souhaitent conserver la maîtrise du pilotage et des flux, mais aussi pour des raisons de responsabilité, de complexité des produits et de qualité, l'intégration par externalisation connaît des limites.

Ainsi, l'approvisionnement en bord de chaîne de la plupart des constructeurs automobiles est assuré par le constructeur lui-même ou par l'équipementier (sous-traitant de rang 1. De même, l'utilisation par les assembleurs de modules complexes, ou à forte exigence de qualité ou de sécurité, ne conduit généralement pas au partenariat. Enfin, un certain nombre d'équipementiers ne désirent pas « abandonner » une partie de leurs activités au profit de prestataires logistiques, dans la mesure où ils en tirent de la valeur ajoutée et une force vis-à-vis des constructeurs. Selon E. Charrier, directeur de la logistique de Visteon Systèmes Intérieurs, « *au contraire, nous souhaitons développer notre offre dans ce domaine [sous-entendu, la logistique] car il y a pour nous une réelle valeur ajoutée, et cela nous positionne véritablement comme fournisseur de rang* ».

## 3 Un concept incontournable : le *Supply Chain Management*

### 3.1 La chaîne logistique globale et sa gestion

La *supply chain* ou chaîne logistique peut être assimilée à un modèle séquentiel d'activités organisé autour d'un réseau d'entreprises dont le but est de mettre un produit ou un service à la disposition du client dans des conditions optimales en termes de quantité, de date, de lieu... Ce réseau regroupe des organisations se trouvant à l'amont et à l'aval du processus productif. Elles partagent un objectif commun, celui de s'engager dans un processus de création de valeur représenté par le produit ou service livré au consommateur. La *supply chain* peut donc se concevoir d'une manière générale comme un « processus d'intégration et de gestion des flux de matériaux et des flux d'information au travers des différents maillons de la chaîne logistique (entreprises situées en amont et en aval) pour répondre et satisfaire la demande du marché ».

T. C. Jones et D. W. Riley<sup>1</sup> définissent les conditions d'une gestion efficace de la *supply chain*. Selon cette optique, le *supply chain management* suppose de planifier et de contrôler les stocks et les activités comme une entité unique et intégrée des

1. T. C. Jones, D. W. Riley, « Using Inventory for Competitive Advantage Through *Supply Chain Management* », *International Journal of Physical Distribution & Materials*, vol. 17, n° 2, 1987.

fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux. Trois éléments doivent alors être pris en considération :

- le niveau de service souhaité par le client final,
- le niveau des stocks sur différents lieux de positionnement préalablement définis tout au long de la chaîne,
- les procédures de gestion de la *supply chain* en tant qu'entité unique.

La *supply chain* repose sur un mode de gestion *interfonctionnel* de l'organisation. Par opposition à une conception fragmentée, il s'agit de coordonner les activités et les ressources des différents services de façon à limiter la création de stocks tout au long de la chaîne de valeur physique. Cette coordination suppose la prise en considération de ressources et de contraintes de nature informationnelle, matérielle, financière, ou humaine dans le cadre des activités connexes à la logistique tels que les approvisionnements, la production et le marketing. À cette conception, s'ajoute une seconde dimension de nature *interorganisationnelle*. Le processus de création de valeur ne doit pas s'interrompre depuis la manifestation du besoin du client jusqu'à la livraison. Cela suppose d'aménager, ou tout au moins de ne pas négliger, les différentes phases de transition lors du passage d'une entreprise à l'autre. Les frontières entre les entreprises se gomment tout comme s'effacent progressivement les frontières entre les activités d'une même organisation. Ces deux dimensions interfonctionnelles et interorganisationnelles forment la chaîne physique de création de valeur du produit ou du service (cf. figure 5.2). L'analyse de la création de valeur pour le client se trouve au cœur de la démarche *supply chain* puisque c'est l'ensemble des activités des entreprises partenaires qui doit être orienté vers le client.

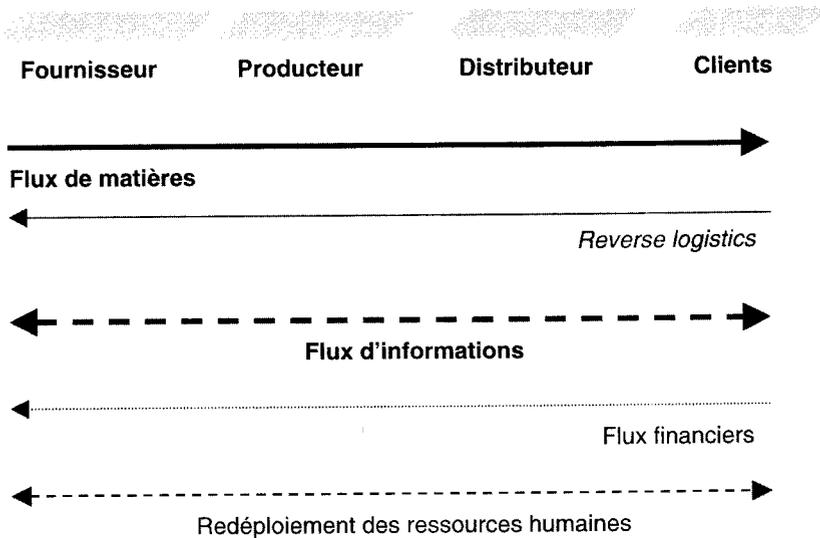


Figure 5.2 : Les différents flux parcourant la chaîne logistique

Une définition plus rigoureuse de la *supply chain* conduit à distinguer la *supply chain* au sens strict du terme de la *supply chain* intégrée (cf. figure 5.3). De façon étroite, on peut considérer que la notion de *supply chain* décrit l'ensemble des opérations permettant à l'entreprise de vendre le bien (opérations d'achat, de transformation et de transport).

La « *supply chain* intégrée » propose une vision plus large englobant l'ensemble des opérations permettant à un consommateur d'acquérir le bien ou le service. Ce concept dépasse donc largement des frontières de l'entreprise et permet de développer une approche *globale* de la gestion des flux physiques et des flux d'informations. L'objectif est ici de répondre aux impératifs de coûts, de flexibilité, de délais, et de qualité en recherchant des solutions, non seulement dans l'entreprise, mais sur l'ensemble de la chaîne. L'optimisation de la chaîne logistique vise avant tout la satisfaction du consommateur final à travers l'optimisation du service qui lui est rendu. Aujourd'hui, lorsque l'on évoque la *supply chain*, il s'agit presque toujours de sa version « intégrée ».

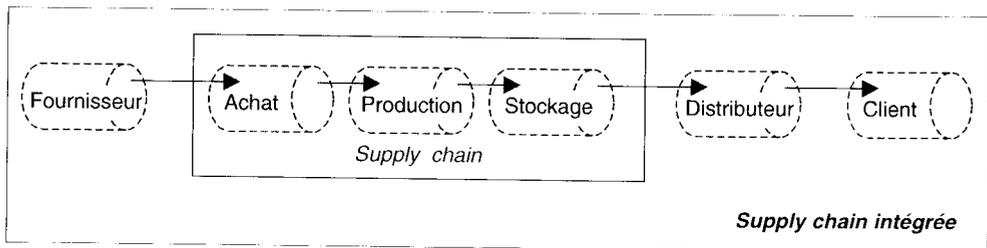


Figure 5.3 : De la *supply chain* à la *supply chain* intégrée

Pour insister sur la dimension de gestion globale et continue des flux dans le cadre de la *supply chain*, A.J. Martin retient l'image du pipeline dans son ouvrage sur le DRP<sup>1</sup>. Le recours à un tel concept souligne la capacité du pipeline à accélérer les flux, que ce soit celui des informations ou des matières. Les flux de marchandises sont assimilés à « un liquide passant dans des réservoirs dotés de vannes de régulation amont et aval ». L'auteur propose d'assimiler la chaîne de distribution à ce pipeline afin d'imaginer l'écoulement des produits d'un bout à l'autre. « Si vous souhaitez réduire les stocks tout en améliorant la disponibilité (le taux de service), vous devez alors augmenter la vitesse d'écoulement. Pour cela, il faut prendre le pipeline dans sa globalité et ne pas se limiter à des segments unitaires ou isolés. » A.J. Martin incite aussi notamment à l'identification des différentes contraintes et facteurs de fluctuation de la demande qui freinent le flux.

1. A.J. Martin, *DRP, le moteur de l'ECR*, Aslog, 1990.

Un peu dans le même esprit, C. Scott et R. Westbrook<sup>1</sup> définissent ainsi la *pipeline map*, sorte d'outil d'analyse de la *supply chain* ; elle permet d'identifier facilement les points de la chaîne à améliorer. La *supply chain* est matérialisée par des segments horizontaux et verticaux. Les premiers représentent la durée moyenne des différents processus entre les divers points de stockage (fabrication des pièces, assemblage primaire, assemblage final, transport, etc.). Les segments verticaux correspondent à la durée moyenne d'attente des différents éléments aux points de stockage. D'autres indicateurs peuvent être ajoutés à cette représentation de base afin de mettre en évidence les zones sur lesquelles il faut faire porter les efforts, tant à l'intérieur de l'entreprise qu'à l'extérieur.

### 3.2 Le SCM et le modèle SCOR

En 1996, deux cabinets de conseil (PRTM et AMR) et 69 industriels (dont Texas Instruments, Procter & Gamble, Lockheed Martin, Nortel, Rockwell Semiconductor, Allied Signal...) se sont regroupés pour créer le Supply Chain Council (SCC). Cette association internationale à but non lucratif, qui compte aujourd'hui 650 membres, a pour objectif d'aider les entreprises à mieux organiser et gérer leur chaîne logistique. Pour cela, elle s'appuie sur l'utilisation du modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference) et tente d'en assurer la plus large diffusion afin d'améliorer les rapports entre fournisseurs et clients.

Selon le Supply Chain Council, « *le modèle SCOR est un modèle de référence des processus de la chaîne logistique, applicable quel que soit le type d'industrie.* » Un modèle de référence des processus intègre notamment les concepts de reconfiguration des processus d'entreprise et d'évaluation de performances (benchmarking). Il doit permettre :

- de décrire l'état actuel d'un processus et son état futur souhaité,
- de mesurer les performances opérationnelles des entreprises semblables obtenant les meilleurs résultats et, ainsi, d'établir des objectifs cibles internes ;
- de définir les méthodes de gestion et les solutions logicielles associées pour atteindre un fonctionnement optimal de la chaîne logistique.

Le modèle SCOR s'inscrit dans une démarche ECR (Efficient Consumer Response, cf. section suivante) puisqu'il a été conçu pour décrire toutes les activités de la chaîne d'approvisionnement et les faire converger vers la satisfaction du consommateur. La description de la chaîne logistique s'effectue selon quatre niveaux :

- le niveau 1 présente la structure de base de la *supply chain* avec les processus génériques de planification, d'approvisionnement, de fabrication et de livraison ;
- le niveau 2 affine cette présentation en décomposant le contenu de chaque processus générique en catégories (exemple : production à la commande, sur stock, mixte) ;

1. C. Scott, R. Westbrook, « New strategic tools for SCM », *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 21, 1991.

- le niveau 3 précise les différentes étapes de chacune des catégories décrites dans le niveau inférieur ;
- le niveau 4 décrit les procédures spécifiques mises en œuvre par les entreprises ; il est adapté à la taille et à l'activité de l'entreprise.

### 3.3 Pertinence de l'analyse en termes de SCM

– L'originalité de la *supply chain* est d'assurer la continuité du processus de création de valeur entre les fonctions et entre les entreprises. Le cœur de la SCM fonctionne sur la base d'une gestion globale et intégrée des flux permettant une *optimisation de leur système de gestion*. La *supply chain* présente alors un double intérêt. D'une part, pour le client elle est la source de *création de valeur* supplémentaire. D'autre part, pour l'entreprise elle-même, elle autorise une meilleure maîtrise des *stocks*, ainsi qu'une *rationalisation* de ses activités en coordination avec ses partenaires amont et aval (notamment par une moindre redondance de celles-ci entre fonctions et/ou entre entreprises). La maîtrise de la *rentabilité financière* de l'entreprise constitue à ce titre une priorité de la *supply chain*. Si celle-ci s'inscrivait déjà dans les démarches de type JAT et qualité totale, elle trouve dans la chaîne intégrée une modalité complémentaire indispensable à la réalisation d'un optimum de gestion.

L'atteinte de cet optimum suppose une *reconfiguration de l'organisation* à travers une refonte des modalités traditionnelles de travail dans l'entreprise. Ainsi, il faut oublier l'organisation fordiste basée sur le découpage de l'entreprise en fonctions pour les intégrer dans un vaste projet « supra-fonctionnel » dont l'objectif stratégique est la satisfaction du client. Cette satisfaction suppose de traiter dans un processus de planification global les activités d'approvisionnement, de fabrication et de livraison.

Les modalités concrètes de cette intégration passent par une *gestion globale et synchrone des flux* physiques, des flux d'informations et des flux financiers. Ainsi, l'objectif est-il par exemple de synchroniser les activités de réapprovisionnement de l'ensemble de la chaîne en fonction de la consommation réelle et prévue en aval, au niveau du point de vente final (détaillant). La théorie de la réponse optimale au consommateur (ECR) participe de cette logique en autorisant une *intégration virtuelle* de la chaîne au moyen des nouvelles technologies de l'information. De même, les codes à barres associés à un mode de transmission de l'information informatisé (EDI) assurent à l'amont une parfaite maîtrise de la circulation des marchandises. Nous reviendrons en détail sur ces différents aspects au cours des différentes sections de ce chapitre.

Parallèlement aux flux amont, les flux aval sont aussi l'objet d'un processus de gestion intégré. La qualité et la rapidité des flux d'informations lors de la passation d'une commande ont des conséquences directes sur le degré de satisfaction du client. Il s'agit ici de pouvoir vérifier instantanément la disponibilité des articles détenus en stock et de mettre en œuvre le plus rapidement possible l'ensemble du dispositif de traitement de la commande (préparation, transport, facturation...). L'informatique

s'avère alors être d'une aide précieuse. Enfin, lors de la phase de conception et de production, les flux d'information et de matière doivent être parfaitement maîtrisés. L'informatique participe là encore de l'efficacité du système de gestion grâce à la GPAO. C'est donc l'ensemble des flux internes et externes, amont et aval qui sont concernés par le processus d'optimisation global de la chaîne logistique.

De cette organisation transversale découlent de nouvelles approches en termes de maîtrise des coûts et des délais. Une augmentation de la qualité du service et la détection rapide des discontinuités de flux sont aussi assurées. Les modalités traditionnelles de contrôle qualité, ainsi que les procédures classiques d'évaluation sont donc remises en cause. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication jouent ici un rôle non négligeable que l'on peut qualifier de *transformatif* par rapport aux processus classiques de gestion et aux modalités traditionnelles d'organisation (suivi en temps réel des opérations, minimisation des coûts et délais, augmentation de la qualité...).

Les rapports entre entreprises doivent aussi évoluer afin d'assurer la stabilité du processus de création de valeur au sein d'un *réseau de type horizontal*. Des relations de coopération avec les partenaires amont et aval s'imposent comme un préalable à la mise en œuvre de la *supply chain*. La preuve est faite notamment par l'évolution des rapports entre distributeurs et fabricants (V. des Garets, 2000). La logique de coordination qui prédomine jusqu'au début des années 90 est d'abord une logique de nature « transactionnelle ». Les entreprises parties prenantes à l'échange tentent de négocier au mieux les transactions menées (par exemple on voit se multiplier les stocks spéculatifs chez les distributeurs pendant les périodes de promotion).<sup>1</sup>

À partir des années 90, la nécessité d'une approche globale de la logistique se dessine face notamment au phénomène de concentration dans la grande distribution et à la guerre des prix. Une logique « relationnelle » se substitue progressivement à la logique transactionnelle. Les entreprises s'orientent vers des politiques de coopération étroite fournisseur-distributeur. C'est le client qui constitue la clé de voûte de la relation et qui justifie la collaboration. La gestion du triptyque fournisseur-distributeur-client à travers la logistique d'entreprise suppose l'établissement de relations de partenariat étroites. Celle-ci est largement orchestrée et soutenue par une architecture informatique commune et intégrée permettant la maîtrise globale des flux. Le rôle transformatif des NTIC peut donc être encore souligné.

– Parallèlement à cette construction organisationnelle, l'originalité de la SCM découle aussi de la nature du processus décisionnel mis en place. En effet, une intégration des démarches de nature opérationnelle et stratégique caractérise ce processus. Plus précisément, il combine les trois niveaux de décision de Ansoff : le niveau stratégique, tactique et opérationnel. Si le *supply chain management* est une démarche qui part naturellement de la stratégie pour aboutir à l'exécution, c'est aussi à partir du

1. N. Fabbe-Costes, J. Colin et G. Pache, 2000.

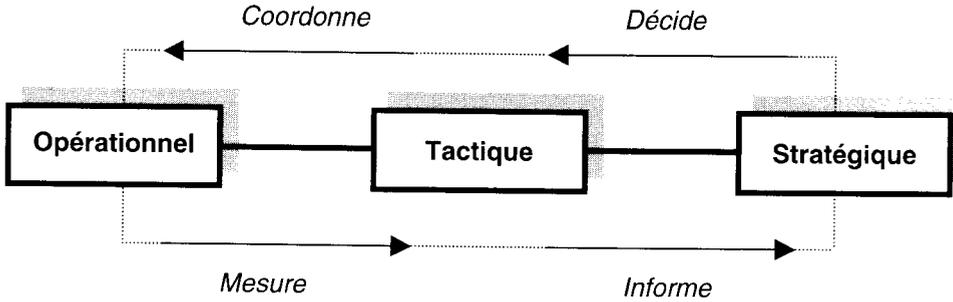


Figure 5.4 : Les trois niveaux de la SCM

bilan des opérations que des réajustements peuvent être effectués afin d'adapter la dimension tactique et la dimension stratégique (Cf. figure 5.4).

Ce processus de planification glissant, de type itératif, s'effectue en continu. Il traduit une volonté bien connue d'amélioration permanente du processus de gestion des flux. En effet, l'instabilité et la complexité des marchés modifient souvent les objectifs tactiques de l'entreprise ce qui interagit dans un second temps avec les modalités de pilotage de l'entreprise. L'impératif de réactivité suppose donc la mise en œuvre rapide d'actions de type correctif dès qu'un paramètre se modifie sous l'influence de l'environnement. Le *supply chain management* se veut une démarche rigoureuse mais complexe, qui associe simultanément :

- une démarche *top/down* : le niveau stratégique pilote le niveau tactique, ce dernier fournissant lui-même au niveau opérationnel un cadre d'exercice,
  - une approche *bottom/up* : le niveau opérationnel exerce un effet de résonance par rapport au niveau du dessus et permet ainsi de préciser les différents plans d'action de long et moyen terme.
- Le développement de la SCM permet donc de valoriser l'entreprise à travers plusieurs axes :
- la dimension *stratégique* prise par le client qui place l'activité logistique au cœur du processus de création de valeur ;
  - la dimension *organisationnelle* qui conduit à refondre les structures et les relations traditionnelles de travail à un double niveau,
  - la dimension *managériale* qui favorise notamment l'intégration du niveau opérationnel et du niveau stratégique,
  - la dimension *temporelle* qui consiste à anticiper le plus possible et avec un degré de fiabilité certain les besoins du client ; la proximité au marché des activités aval doit permettre une meilleure anticipation par les activités amont,
  - la dimension *technologique* grâce aux NTIC qui autorisent le recueil, le transfert, le traitement des informations pratiquement en temps réel (réseaux électroniques, EDI, Internet...) ; elles offrent aussi la possibilité de faire des simulations

(ERP) ; enfin de façon plus générale, elles participent à la transformation des processus de gestion et d'organisation.

Cette valorisation se traduit par des gains de nature financière. En effet, si le coût lié à la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement intégrée est conséquent, des gains d'exploitation substantiels sont à attendre dans un premier temps. Ils se concrétisent notamment et en moyenne par un abaissement du niveau des stocks estimé de 10 à 30 %. La qualité du service offert au client augmente aussi grâce à la flexibilité autorisée par l'intégration des activités. Ainsi, le taux de service avoisine les 98 % et le taux de rotation des stocks augmente de 30 à 40 %.

Quelques exemples d'entreprises permettent d'illustrer les gains concrets apportés par la mise en œuvre de la *supply chain*. Une étude a en effet montré que Alcatel Network System a vu ses retards de livraison diminuer de près de 25 %. De même, chez Nike, le taux d'exécution des commandes s'est vu augmenter de 40 %. Cooper Bussman a bénéficié d'une diminution du niveau de ses stocks de 60 %. Enfin, chez Telxon, le coût d'expédition des commandes a diminué de 85 %. Si les bénéfices liés à la démarche *supply chain* sont d'abord liés à une baisse des coûts d'exploitation, ils se traduisent aussi dans une seconde étape par une meilleure réactivité à la demande ; bien plus difficile à évaluer, elle n'en est pas moins présente.

### 3.4 Le SCM et les solutions informatiques associées

La *supply chain* est parfois si vaste que l'offre des sociétés informatiques est assez délicate à cerner avec précision. Pour simplifier, nous dirons que le marché des logiciels de *supply chain management* se divise en trois catégories : les ERP – Enterprise Resource Planning –, les APS – Advanced Planning and Scheduling (ou System) – et les SCE – Supply Chain Execution. À l'occasion du chapitre 2, nous avons déjà évoqué ERP et APS. Nous n'y reviendrons donc que brièvement.

Les ERP sont des logiciels qui permettent le *partage d'informations* entre les différents modules (comptabilité, GPAO, gestion des stocks, gestion des achats, etc.) grâce à une base de données unique, c'est pourquoi ils sont qualifiés de *logiciels intégrés*. Sur ce marché, SAP et ORACLE sont les deux entreprises leaders.

Les APS sont des logiciels de planification et d'aide à la décision, qui permettent à la fois la simulation et l'optimisation. Ils ont pour fonction principale d'optimiser, sous contraintes, l'organisation de la chaîne logistique. Ils sont d'une aide précieuse par exemple lorsqu'il s'agit d'effectuer des prévisions de vente, ou de gérer la fabrication en flux tendus d'une entreprise multi-établissements. Fondés sur des algorithmes souvent complexes, les APS<sup>1</sup> ne disposent pas de leur propre base de données et doivent donc être « connectés » aux ERP ou au système d'information de l'entreprise. APS et ERP coûtent chers, tant à l'acquisition, que lors de la mise en place et de la maintenance.

1. La suite complète APS d'Oracle comprend de nombreux modules et notamment *Demand Planning*, *Advanced Supply Chain Planning*, *Global Available to Promise Server* et *Manufacturing Scheduling*.

On trouve ensuite les SCE – Supply Chain Execution –, qui ont pour objectif d’optimiser le cycle de traitement des commandes. Ils regroupent généralement trois fonctions :

- la gestion de l’entreposage (Warehouse Management System – WMS),
- la gestion des transports (Transport Management – TM),
- la gestion des commandes (Advanced Order Management – AOM).

Ils offrent des solutions adaptées aux modes de circulation des flux au sein de la chaîne logistique et sont par exemple conçus pour traiter des livraisons en *cross-docking* ou en GPA. Ils peuvent disposer de la radiofréquence en entrepôt, recourir à des transmissions par satellites pour le suivi des marchandises, ou faire appel à Internet pour le suivi des commandes en temps réel. Devant l’exigence croissante de traçabilité, certains de ces logiciels utilisent les standards internationaux d’étiquetage ou de communication (par exemple : l’étiquette logistique UCC/EAN 128 et le langage UN/EDIFACT ; cf. section 3 de ce chapitre).

L’inconvénient des progiciels SCE réside dans le fait qu’ils assurent une *intégration aval* (logistique de distribution) mais pas une intégration amont : en effet, ils ne permettent généralement pas de retrouver les ordres de fabrication initiaux et les fournisseurs des composants. Le suivi en amont est effectivement assuré par les logiciels de GPAO ou par les logiciels appelés MES – Manufacturing Execution System. Ces derniers, grâce à l’utilisation des gammes et des nomenclatures, permettent d’associer les fournisseurs des composants, les produits, les ordres de fabrication et les commandes.

Face à cette offre fragmentée, quelques éditeurs de progiciels proposent à leurs clients la possibilité de disposer d’un véritable système d’information *intégré* avec les EAI – Enterprise Application Integration –, traduit par intégration des applications d’entreprise<sup>1</sup>. Il s’agit de logiciels capables d’instaurer des échanges entre des applications qui n’ont pas été conçues pour communiquer. Sur le plan technique, la mise en place d’un EAI conduit le client à abandonner le développement de passerelles spécifiques bilatérales entre les applications au profit d’une conception en étoile. Un EAI doit être capable d’une part d’aller chercher des informations d’origines et de formats divers et d’autre part de rendre ces informations homogènes et accessibles. Pour l’heure, du fait de leur coût élevé, les projets d’EAI sont avant tout réservés aux grandes entreprises qui doivent gérer de multiples applications.

La figure 5.5 permettra d’avoir une vision globale simplifiée de l’offre logicielle qui existe en vue de gérer efficacement la *supply chain*.

---

1. Pour plus de clarté sur une terminologie instable, mais à la mode, nous préciserons que :

- les logiciels interapplicatifs à l’intérieur de l’entreprise sont aussi appelés logiciels A-to-A (Application to Application) ;
- lorsque le périmètre de ces échanges interapplicatifs est étendu aux partenaires de l’entreprise (clients, fournisseurs), on parle alors de logiciels B-to-B (Business to Business) ou indifféremment de logiciels IAI (Internet Application Integration).

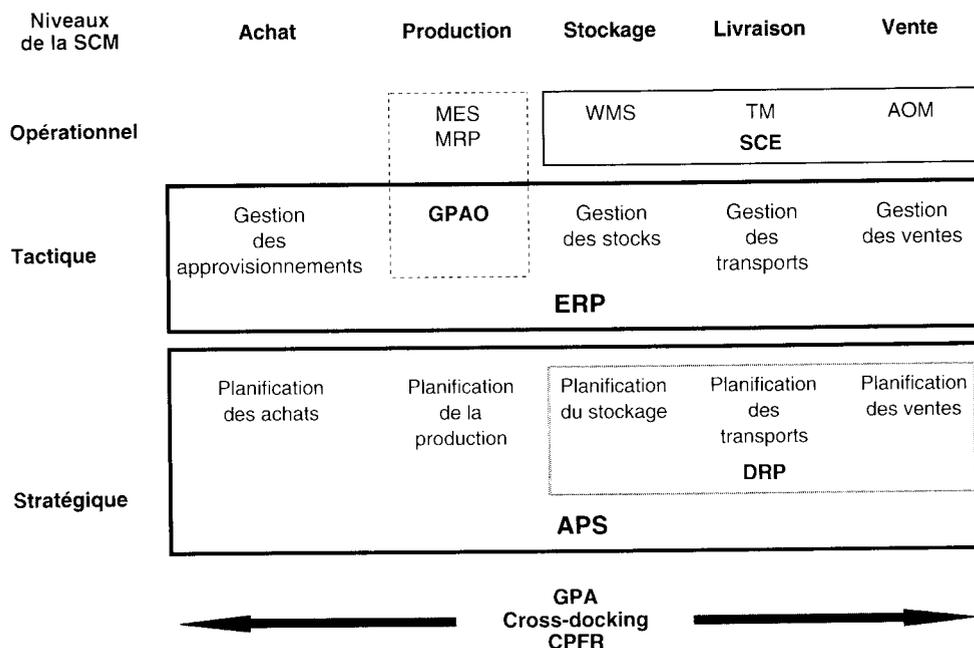


Figure 5.5 : Les logiciels de SCM selon le niveau de la SCM

La tendance actuelle n'est pas à la fragmentation de l'offre ; les multiples alliances dans le domaine des logiciels de gestion intégrée s'expliquent par le fait que les entreprises souhaitent de plus en plus homogénéiser leurs solutions informatiques, afin d'être véritablement intégrées.

### 3.5 Les limites du concept

Trois remarques peuvent cependant être faites si l'on effectue une analyse critique du concept de *supply chain* et de ses modalités de gestion.

Premièrement, si le SCM apparaît a priori comme assez novateur, son originalité ne réside pas tant dans un mode de traitement des flux particulièrement nouveau, que dans une *reconfiguration nécessaire de l'organisation* logistique et des métiers dans l'entreprise. En effet, l'originalité provient de la remise en cause des pratiques quotidiennes des activités de gestion de flux. Bien qu'au stade actuel de l'intégration, l'objectif apparaisse comme très ambitieux, il ne fait cependant que confirmer une tendance déjà bien rodée de l'efficacité logistique. Dans la plupart des secteurs et des entreprises, le traitement très intégré des flux, des approvisionnements jusqu'à la distribution physique chez le client, ne constitue pas en soi un modèle de gestion en rupture avec les modèles antérieurs. Le SCM se situe simplement à une étape ultime de l'intégration puisqu'il touche la chaîne de valeur et les processus de l'entreprise.

La deuxième remarque découle de la première et concerne l'utilisation des nouvelles technologies de l'information afin d'assurer la gestion globale de ces flux. L'intégration des activités logistiques a été progressive et s'est matérialisée à travers les différentes modalités d'intégration des *systèmes d'information*. Le partage des données et de fichiers, puis l'établissement de langages, de procédures, de méthodes de travail en commun et enfin les développements de logiciels ont jeté les bases de l'intégration... Ainsi, les progiciels de MRP et MRP II participaient déjà à cette démarche comme l'illustre le graphique ci-dessous. En fait, à une dimension de nature opérationnelle et tactique du chaînage logistique, les NTIC (ERP, Internet...) ajoutent une dimension globale. On est donc toujours dans la même logique de gestion. Les NTIC ne font ici qu'accentuer le rôle transformatif qu'elles exercent dans le domaine de la logistique en contribuant largement à la valorisation de cette activité par le biais de systèmes d'information et de communication intégrés.

La dernière remarque concerne les modalités de gestion de la *supply chain*. En effet, toute la question en matière de management logistique consiste désormais à gérer de façon optimale un double niveau de globalité des flux (niveau interfonctionnel et niveau interorganisationnel). Devant un tel défi, la question du développement de nouveaux outils de management semble se poser de façon évidente. Or, la chaîne de valeur de Porter (déjà bien connue des gestionnaires) constitue un excellent outil d'optimisation stratégique. Cette optimisation implique d'identifier les activités créatrices de valeur à l'intérieur de l'entreprise, mais aussi à l'extérieur de l'entreprise (conception interorganisationnelle). L'efficacité logistique conduit alors à opérer des choix pertinents en terme d'externalisation ou non des activités. Une stratégie d'abandon peut aussi être envisagée afin d'éliminer les activités destructrices de valeur ou non créatrices de valeur dans l'entreprise mais aussi chez les partenaires. Les différentes activités créatrices de valeur pour le client seront quant à elles pilotées de façon globale. Il est donc possible de trouver parmi les outils classiques de l'analyse stratégique des solutions pertinentes susceptibles d'assurer l'optimisation de la chaîne logistique globale.

Enfin, d'un point de vue moins conceptuel, les limites de la *supply chain* se traduisent par des difficultés à mettre en œuvre le changement dans l'entreprise. En effet, tout processus de *reengineering* sur la chaîne d'approvisionnement implique non seulement une mise à plat de l'organisation, mais aussi une réflexion poussée au-delà de ses frontières (chez ses fournisseurs, ses clients, etc.). Aujourd'hui, les entreprises sont conscientes du fait que ce qui est le plus délicat, ce n'est pas que la nouvelle organisation soit plus complexe que l'ancienne, mais que les habitudes de travail, les routines opérationnelles et les inerties, tant à l'intérieur de l'entreprise que chez ses partenaires, soient les plus fortes. Comme quasiment tous les processus de changement, la réorganisation de l'entreprise autour d'une *supply chain* (ou d'une *e-supply chain*...) se trouvera confrontée à ces difficultés. Les logiciels, malgré leur rôle incontestable, ne résoudront pas tous les problèmes et il revient le plus souvent aux ressources humaines de l'entreprise d'effectuer la majeure partie du travail.

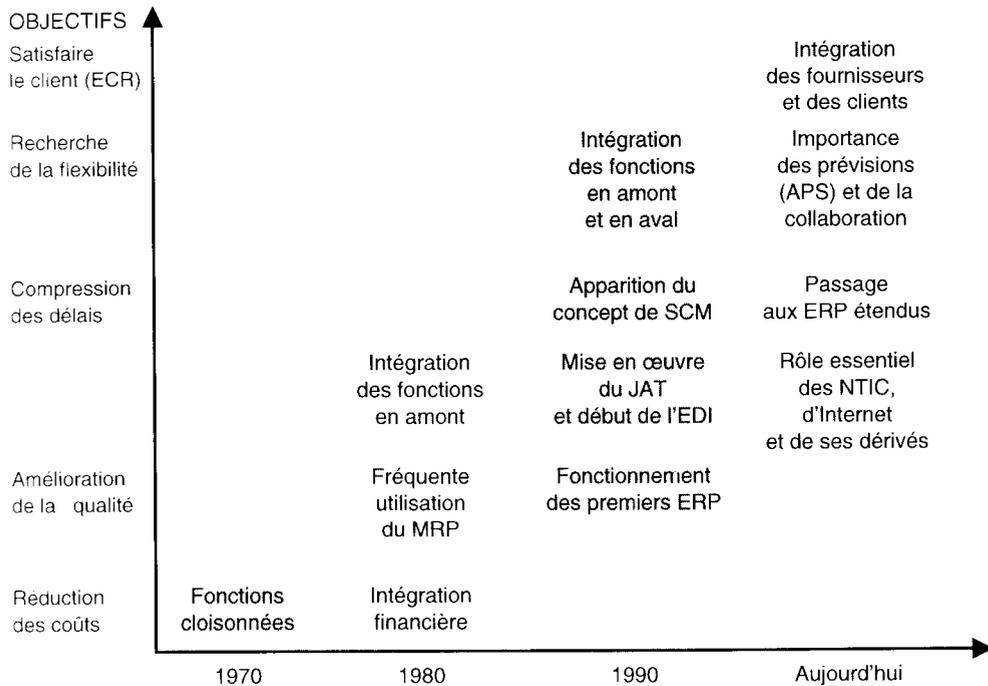


Figure 5.6 : L'évolution de l'intégration à travers les objectifs et les moyens

Section

**2**

## LA LOGISTIQUE DANS LE CADRE DE L'ECR

L'ECR, c'est-à-dire Efficient Consumer Response, qui peut être traduit par *efficacité et réactivité au service du consommateur*, correspond à une stratégie où les fournisseurs et les distributeurs collaborent afin d'améliorer la satisfaction du consommateur. L'ECR tente d'assurer une synthèse des objectifs traditionnels que sont l'amélioration de la qualité et de la flexibilité d'une part, la réduction des coûts et des délais d'autre part. Les pratiques ECR se sont répandues aux États-Unis dès le début des années 90 et prennent en Europe une importance considérable depuis quelques années. Pour la petite histoire, on doit certainement à IBM la très large diffusion du concept. En effet, IBM a été le promoteur d'une solution informatique, le *Continuous Replenishment Program*, qui avait assuré le succès de la célèbre coopération entre Wal-Mart et Procter & Gamble dans le domaine du réapprovisionnement direct des magasins par le fournisseur<sup>1</sup>.

1. On pourra consulter avec intérêt l'ouvrage de Y. Pimor, *Logistique, techniques et mise en œuvre*, coll. Génie Industriel, Paris, Dunod, 1998.

Comme l'indique la figure 5.7, ECR fait porter ses efforts dans deux directions principales : la *gestion de la demande* (Trade Marketing et Category Management) et l'organisation de la *chaîne logistique*. Le Category Management (CM) correspond à l'optimisation d'un assortiment et au regroupement dans une zone spécifique du magasin d'un ensemble homogène de références relevant d'une même logique de consommation. Le CM consiste à lier en aval le marketing et la vente avec en amont les achats et la logistique. La gestion par catégories peut encourager la coopération entre les fournisseurs et le distributeur. Autrement dit, le CM conduit à optimiser les assortiments, les promotions et les lancements de nouveaux produits. Il s'appuie sur la mise en œuvre de systèmes de *data mining* (traitement « intelligent » des données) à partir des *data warehouses* (bases de données contenant les historiques de ventes)<sup>1</sup>. Considérant que le *category management* relève davantage d'une logique marketing, nous développerons uniquement la seconde direction, celle relative à la chaîne logistique.

Figure 5.7 : Les 4 piliers de l'ECR

Orientation marketing <i>Trade marketing et Category management</i>			
		Orientation logistique DRP, GPA, CPFR et <i>cross-docking</i>	
Lancement de produits	Promotion efficace	Assortiment optimal	Réapprovisionnement optimal
But : optimiser le développement et le lancement des produits	But : arriver à une meilleure planification des promotions	But : optimiser les surfaces de vente et les stocks	But : réduire les stocks, les délais et les coûts

Dans le domaine de la logistique, certaines pratiques s'inscrivent dans une logique d'ECR car elles permettent à la fois une réduction des coûts (favorable à l'entreprise, mais aussi aux clients) et une diminution des délais. La méthode DRP, la gestion partagée des approvisionnements, ou sa version plus complète et élaborée, le Collaborative Planning Forecasting and Replenishment, ainsi que le *cross-docking*, sont les principaux outils modernes au service d'une stratégie d'ECR orientée logistique.

## 1 La gestion partagée des approvisionnements

Plusieurs éléments peuvent expliquer l'intérêt porté à la collaboration dans le domaine des approvisionnements et de la distribution. Les stocks ont longtemps été considérés comme le moyen le plus efficace pour pallier les fluctuations brutales et

1. Le *data mining* correspond au traitement « intelligent » des données et les *data warehouses* sont des bases de données contenant les historiques de ventes.

inattendues de la demande, ainsi que le manque d'intégration des différents maillons de la *supply chain*. Alors que les ruptures de stocks sont préjudiciables tant à l'industriel qu'au distributeur, il fut une époque où le mot d'ordre consistait à multiplier les entrepôts, à garnir abondamment les rayons, etc. Cette stratégie du début des années 80, que nous appellerons de sur-stockage, avait un coût, surtout pour le consommateur. C'est pourquoi un certain nombre d'acteurs (organisations internationales et responsables de grandes entreprises) commencèrent à réfléchir, dès 1988, aux possibilités d'améliorer les filières économiques grâce à une coopération logistique entre industriels et distributeurs. La volonté des grands distributeurs d'accroître leurs marges est un motif supplémentaire. De nombreuses études ont montré qu'en moyenne, la marge du distributeur était de 2 à 3 %. Pour augmenter cette marge, ils ont tenté progressivement de faire pression sur les maillons amont de la *supply chain* afin de réduire le coût de revient « rendu-magasin » du produit. Les distributeurs ont décelé l'existence de forts gains de productivité non seulement dans les activités amont, mais aussi dans les interfaces entre ces activités. La volonté d'optimiser les relations entre les différents acteurs d'une *supply chain* constitue une des clés du DRP et de la GPA.

### 1.1 Le DRP, outil d'optimisation d'avant-garde de la supply chain

Au même titre que le MRP, le Distribution Resource Planning ou DRP est un outil de planification de la chaîne logistique. La planification des ressources (ou des besoins) de distribution est une technique qui est née aux États-Unis vers la fin des années 80, notamment sous l'impulsion de A. J. Martin<sup>1</sup>. Dans son livre, ce dernier rappelle que « *l'impératif de réactivité vis-à-vis du client nécessite des systèmes de planification et d'ordonnancement qui transmettent rapidement et continuellement tout changement de la demande depuis les points de vente jusqu'au début de la fabrication, et même jusqu'au début de la production de composants* ».

Le principe de base du DRP consiste, à l'aide d'un logiciel (sur le même principe que le MRP), à déterminer de façon continue, pour un produit et pour un point de vente, *les besoins en approvisionnements*, en prenant en compte :

- les besoins des clients, fermes ou prévus ;
- les stocks disponibles de produits finis ;
- les niveaux de stock de sécurité exigés ;
- les réceptions prévues ;
- les délais de production et de transport ;
- les contraintes de production et de transport (par exemple, les quantités minimales de distribution, le conditionnement du produit) ;
- les modalités de transport (types, fréquence).

---

1. A. J. Martin, *DRP, moteur de l'ECR*, Aslog, 1990.

On réitère ce calcul pour chaque point de vente, puis on consolide les besoins d'approvisionnement au niveau régional, national ou autre, pour obtenir finalement une proposition de plan d'approvisionnement que l'on transmettra à la production ou à un fournisseur. Grâce au DRP, le responsable de la logistique dispose d'une estimation des besoins en ressources : besoins en capacité de transport, en main-d'œuvre, en surface, ou en financements. Comme le MRP, le DRP permet dans une seconde étape de comparer puis d'ajuster les besoins en ressources aux capacités.

L'efficacité du DRP dépend, d'une part de la mise à jour continue des besoins en approvisionnements afin de tenir compte des dernières informations et d'autre part, de la participation de tous les acteurs au processus de planification. Comme le dit A. J. Martin, une planification réussie s'explique par une coopération réussie entre le distributeur et le producteur. Les bases de la Gestion partagée des approvisionnements sont ainsi posées dès la fin des années 80. Elles seront consolidées progressivement.

## 1.2 Définition et caractéristiques de la GPA

Bien que GPA soit en France la principale appellation, il ne faut pas négliger les termes anglo-saxons, tels que Market Respons System (MRS), Vendor Managed Inventory (VMI) par opposition à la gestion traditionnelle des approvisionnements le Customer Managed Inventory (CMI) ou encore Continuous Replenishment Programm (CRP).

La gestion partagée des approvisionnements répond à un triple objectif :

- simplifier les procédures de réapprovisionnement entre fournisseurs et distributeurs,
- limiter les stocks tout au long de la *supply chain*, tout en assurant un niveau de service optimal (volonté d'éviter les ruptures de stock),
- réduire les coûts afin d'être compétitif.

Il s'agit de transmettre aux fournisseurs, si possible en temps réel, des informations sur le niveau des stocks ; la remontée des informations, suite aux passages en caisse des produits, est un des moyens utilisés dans la grande distribution. Ainsi, c'est le fournisseur, et non plus l'acheteur, qui calcule lui-même le volume des commandes. L'industriel transmet ensuite à son client un plan de livraison (ou proposition d'approvisionnement) qui doit normalement être parfaitement synchronisé avec les besoins du distributeur. Le fournisseur n'est plus le simple exécutant d'ordres souvent tardifs, mais devient coresponsable de l'approvisionnement des stocks du distributeur. Certains professionnels disent qu'il s'agit d'une logistique à flux tirés.

La technique dite du réapprovisionnement en continu constitue le cœur de la GPA. Même si le terme « en continu » est quelque peu exagéré, il s'agit effectivement pour les fournisseurs de coller le mieux possible à la demande. Pour cela, rien ne vaut un système où les réapprovisionnements de petites quantités sont fréquents. Bien que cela existe à l'étranger, il est rare d'observer en France une fréquence inférieure à la

journée. Aux États-Unis, mais aussi aux Pays-Bas, certains fournisseurs opèrent des réassorts toutes les 2 ou 3 heures, grâce à la connaissance en temps réel des ventes.

La GPA suppose donc un partenariat entre fournisseurs et distributeurs ; le concept est souvent présenté comme une démarche gagnant-gagnant (ce n'est pas si sûr !), où l'objectif final est d'améliorer la satisfaction du client. Nous sommes donc totalement dans une démarche ECR. Outre la mise en place d'un système informatique et de communication, l'EDI par exemple<sup>1</sup>, les deux parties doivent très concrètement se mettre d'accord sur un certain nombre de points techniques (on retrouve ici les éléments cités lorsque nous évoquions le fonctionnement du DRP) :

- dimensionnement du stock de sécurité chez le distributeur, que le fournisseur doit forcément prendre en compte ;
- quantités minimum et maximum de livraison ;
- différentes contraintes de stockage et de transport ;
- fréquences possibles des approvisionnements, etc.

### 1.3 Les avantages et les limites de la GPA

Distributeurs et fournisseurs peuvent profiter de la GPA. Ainsi, les avantages pour les distributeurs sont les suivants :

- réduction des stocks et des frais associés,
- simplification des procédures d'approvisionnements,
- amélioration de la communication avec les fournisseurs grâce à des systèmes de communications rendus indispensables par la GPA (notamment l'EDI),
- ruptures de stock moins fréquentes

Sans prétendre à l'exhaustivité, les avantages pour le fournisseur sont :

- la réduction des stocks et du coût associé ;
- la plus grande réactivité face aux variations mieux connues de la demande ;
- l'amélioration de la planification de la production et des livraisons : les industriels peuvent ainsi ajuster au mieux leurs productions selon les ventes et optimiser les transports ;
- la meilleure prise en compte des promotions dans les programmes de production ;
- les ruptures de stocks moins fréquentes.

De très grandes entreprises telles que Mars, BASF, Nestlé, Unilever, Colgate... et GlaxoSmithKline ont adopté une telle démarche. En France, la quasi-totalité des grands distributeurs pratique la GPA sur 50 à 60 % de leurs produits de grande consommation alimentaire.

---

1. Dans la section suivante, à l'occasion des développements sur l'EDI, nous décrirons les différents flux d'informations lorsque la logistique est organisée selon une GPA.

La GPA consiste donc en un *transfert de tâches* de l'aval vers l'amont : exploitation des données, planification des promotions, planification des ventes, et même parfois, mises en rayon. La force contractuelle et le pouvoir de négociation des grands distributeurs leur a permis de faire pression sur leurs fournisseurs sans toujours offrir une rémunération équitable pour les services transférés (mécaniquement, les marges des distributeurs augmentent). Effectivement, dans de nombreux cas, le fournisseur n'a pas le choix et doit se plier à la nouvelle organisation initiée par le distributeur pour conserver son référencement chez ce dernier. La plupart du temps, l'industriel qui accepte la mise en place d'une GPA est dans l'obligation :

- de réaliser des investissements : systèmes informatiques et de communication, par exemple une station EDI,
- de repenser son système d'information en le calant sur celui du distributeur, par exemple en acquérant le même progiciel de GPA,
- de recruter de nouveaux personnels compétents dans ces domaines.

Dans le court terme, la GPA est donc financièrement défavorable à l'industriel ; les atouts précisés plus haut permettent, sur le long terme, d'espérer des bénéfices.

De plus, le réapprovisionnement en continu, pilier de la GPA, peut parfois constituer une limite à son développement. En effet, en France il est classique d'accorder des tarifs dégressifs lorsque les commandes sont conséquentes. Or, le fonctionnement de la GPA suppose des livraisons fréquentes de petits volumes. Les plus gros fournisseurs sont capables d'optimiser leur transport, mais de nombreux fournisseurs de petite taille sont contraints de faire partir des camions à moitié vides, annulant ainsi une partie des gains issus de l'intégration et de la coopération. Pour pallier cet inconvénient, certains industriels commencent à regrouper leurs livraisons vers un même distributeur.

En effet, même si la GPA s'applique surtout pour les produits où les ventes sont assez régulières (produits à forte rotation), selon Bruno Viallon, expert en GPA chez Carrefour : *« l'ensemble des produits stockés, y compris les faibles rotations, se prête à la GPA si tant est que les flux sont massifiés sur un nombre restreint d'entrepôts ou livrés suivant des techniques de multipick ou de multidrop<sup>1</sup> pour l'optimisation du transport. »*

#### 1.4 La GPA mutualisée ou multi-industriels

L'association ECR France, en novembre 2000, lors d'une conférence, a proposé un nouveau modèle d'organisation pour les PME : la GPA mutualisée ou multi-industriels. Les membres de l'association partent du constat que les PME ne sont pas

---

1. Dans le cadre de l'optimisation des livraisons par le transporteur, le « multipick » correspond au regroupement de produits de plusieurs fournisseurs connaissant la même destination le même jour, alors que le « multidrop » consiste à ajouter les besoins d'un entrepôt situé sur le parcours de livraison si la charge est insuffisante pour remplir le camion.

capables de faire de la GPA, d'une part à cause du coût des systèmes d'information nécessaires, et d'autre part à cause des transports non optimisés (quasi impossibilité de remplir les camions du fait d'une fréquence de livraison élevée). Pour pallier ses inconvénients, l'ECR France propose aux industriels de se regrouper sur des plates-formes géographiquement proches de leurs sites industriels et appartenant à quelques prestataires ; une fois tous les produits réunis, ces derniers auront pour mission de livrer les distributeurs par camions complets en multi-références. Même si les conditions de fonctionnement étaient réunies, il resterait à convaincre les industriels qui n'ont pas l'habitude de ce type de pratiques.

## 2 Le Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment

### 2.1 Définition

Selon E-3 Corporation, société spécialisée dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, « le CPFR est un processus collaboratif de création de valeur dans la gestion globale de la supply chain combinant les problématiques de l'offre et de la demande ». Le CPFR a été défini aux États-Unis par l'association VICS (Voluntary Interindustry Commerce Standards) dès 1996. C'est en quelque sorte le dernier-né des concepts d'ECR. Il est classé dans la catégorie des *integrators* et utilise :

- les concepts de GPA et de *category management*,
- les techniques de prévision et de planification industrielle,
- les normes de communications pour les échanges de données informatisés,
- les nouvelles technologies de l'information et de la communication (Internet),
- les nouvelles plates-formes de e-commerce.

En France, un chantier de concertation entre Gencod-EAN France et ECR France s'est ouvert en octobre 2000 en vue d'étudier le cadre d'application du CPFR en France. Se sont associées au groupe de travail une cinquantaine d'entreprises (grands distributeurs, industriels, sociétés de conseil).

### 2.2 Objectifs et mise en œuvre

Le CPFR a pour objectifs principaux :

- l'intégration des stratégies commerciales des entreprises partenaires (plan commercial joint) ;
- la prise en considération des contraintes opérationnelles de part et d'autre ;
- l'automatisation des processus d'approvisionnement ;
- les échanges de données en temps réel ;
- la résolution des questions liées à la prévision des ventes et des promotions.

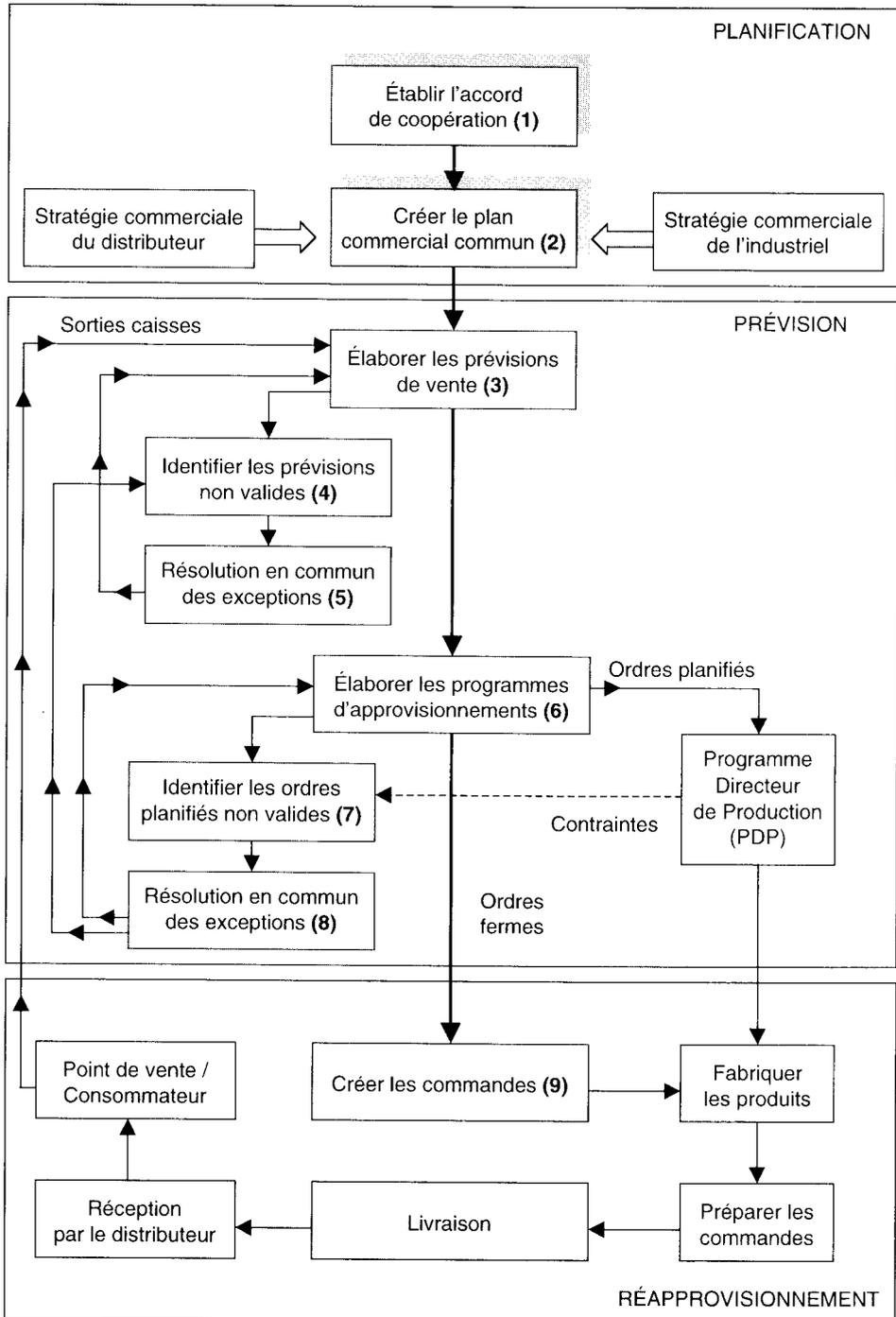


Figure 5.8 : Les 9 phases d'une démarche CPFR

Le processus comprend 9 étapes que l'on peut résumer ainsi :

- 1 – mise en place d'un contrat de coopération
- 2 – élaboration d'un plan commercial joint
- 3 – élaboration des prévisions de la demande
- 4 – identification des exceptions (de prévisions de demande)
- 5 – résolution en commun de ces exceptions
- 6 – élaboration des prévisions de commande
- 7 – identification des exceptions (de prévisions de commande)
- 8 – résolution en commun de ces exceptions
- 9 – lancement des commandes

Le schéma original est plus complet ; en allégeant sa présentation, nous souhaitons attirer l'attention sur les éléments essentiels de la démarche CPFR (*cf.* figure 5.8).

Selon un spécialiste de la logistique de Procter & Gamble, « *le but du CPFR est de franchir une étape supplémentaire dans la coopération industrielle-distributeur à travers un réel partage des informations et des processus* ».

### 3 Quelques éléments de réflexion critique sur les pratiques collaboratives

Qu'il s'agisse des relations entre un donneur d'ordre (avionneur, constructeur automobile, etc.) et ses sous-traitants, ou entre un grand distributeur et ses fournisseurs, il semble que la réalité ne soit pas exactement celle qui est décrite par les partisans de la GPA ou du CPFR. Le fait de présenter ces concepts comme permettant à tous les acteurs d'être gagnants (logique dite *win-win*) et comme absolument recherché par tous, c'est négliger les rapports de force qui existent entre les différents maillons d'un processus productif.

Nous avons déjà précisé que la mise en œuvre d'une GPA entre grands distributeurs et industriels pouvait coûter fort cher aux fournisseurs de petite taille. Il en va de même lorsqu'il s'agit d'un sous-traitant face à un donneur d'ordre. La puissance des grands distributeurs ou des entreprises leaders conduit les fournisseurs à se plier à leurs desiderata. Être en contact direct avec le client est un élément essentiel qui donne une force considérable.

Il est maintenant avéré que les grandes enseignes, telles que Carrefour ou Auchan, sont particulièrement exigeantes avec leurs fournisseurs et que ces derniers doivent souvent consentir à des sacrifices pour être référencés. À ce titre, la loi Galland mise en application à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1997, a pour objectif de rétablir une certaine équité dans les relations commerciales entre distributeurs et producteurs. Elle s'intéresse notamment à clarifier les règles de facturation, la revente à perte, le refus de vente et le déférencement sauvage.

## **REPÈRES : Airbus et Boeing, deux entreprises puissantes au contact des clients**

L'aéronautique civile se compose de trois grandes catégories d'entreprises. Les *équipementiers* sont spécialisés soit dans la fabrication d'éléments spécifiques (hublots), soit dans celle de sous-ensembles plus complexes (systèmes de climatisation et de pressurisation, trains d'atterrissage, etc.). On trouve ensuite les *motoristes*, qui conçoivent et fabriquent les moteurs (par exemple, la SNECMA en France, Pratt & Whitney et General Electric aux États-Unis). Enfin, les *avionneurs* tels que Boeing et Airbus, sont les maîtres d'œuvre : ils réalisent la cellule et le cockpit, coordonnent les travaux, réalisent l'assemblage final et veillent au respect du cahier des charges, tant sur le plan technologique que sur le plan des délais de fabrication. Or, en dépit du fait que les achats représentent entre 60 et 70 % du CA de l'avionneur, ce sont les avionneurs et non les équipementiers ou les motoristes, qui sont au contact des compagnies aériennes, c'est-à-dire au contact des clients. Cette relation commerciale place les avionneurs dans une position de force vis-à-vis de leurs partenaires, que seul un savoir-faire unique peut atténuer.

De même, les grands assembleurs tels que PSA, Renault, Aérospatiale-Matra, etc., choisissent les entreprises avec sévérité lorsqu'il s'agit d'accéder au cercle fermé des fournisseurs de premier rang. Conscients des difficultés pour entrer dans ce cercle et de la concurrence potentielle, les fournisseurs ainsi sélectionnés sont ensuite prêts à accepter les contraintes imposées par le distributeur ou l'assembleur : approvisionnements multi-quotidiens en GPA, flux synchrones, politique de réquisition, etc. D'autant que ces méthodes sont souvent présentées par les initiateurs des projets comme avantageuses pour les deux parties. C'est pourquoi de nombreux fournisseurs acceptent d'ajuster leurs livraisons en fonction des besoins de l'assembleur ou du distributeur, selon des modalités (fréquences et quantités) négociées lors de la signature du contrat-cadre.

On retrouve ici des modalités déjà évoquées lors des chapitres précédents, mais dont nous rappellerons brièvement la définition :

- la technique du *recomplètement* ou système *kanban* : il s'agit d'organiser les réapprovisionnements en fonction de la consommation réelle du maillon situé le plus en aval du processus ; en France, le terme de « boucle RECOR », inventé par Peugeot, signifie récomplètement de consommation réelle ;
- la méthode de *l'appel synchrone* fournit un autre exemple de ce qui est imposé aux fournisseurs ; elle est utilisée par de nombreux constructeurs automobiles. L'appel synchrone consiste à demander aux fournisseurs de livrer le composant exactement au moment où ce dernier sera utilisé dans l'assemblage final. Cela permet de produire des composants ou des sous-ensembles spécifiques (différenciation retardée) sans avoir à les stocker, et sans craindre leur obsolescence ;

- la technique de *la réquisition* suppose, là encore, un contrat entre le fournisseur et le distributeur (ou l'assembleur). Ce dernier fait part de ses besoins fermes et prévisionnels au fournisseur, qui sera tenu de livrer exactement ce dont le distributeur a besoin, quitte à conserver en stock le supplément, demandé un peu plus tard que prévu. Dans sa version « douce », l'ajustement imposé au fournisseur ne concerne que les délais (il connaît avec précision les quantités qu'il doit produire, mais l'incertitude règne sur les dates de réapprovisionnement) ; dans une version plus dure, l'incertitude peut toucher à la fois les fréquences et les quantités.

L'utilisation croissante des deux dernières méthodes, ainsi que la modification de la nature des composants livrés conduisent à une reconfiguration progressive du modèle industriel. Trois caractéristiques traduisent cette reconfiguration :

- les équipementiers sont fréquemment contraints d'inclure des services logistiques dans leur offre-produit ;
- les équipementiers proposent de plus en plus souvent, plutôt que des pièces, des « modules » livrés clés en main « *en bord de chaîne*<sup>1</sup> » ;
- les équipementiers sont progressivement associés à l'assemblage final, ainsi qu'aux retouches lorsque le contrôle qualité décèle un défaut sur le module dont ils ont la responsabilité.

Face à ces contraintes, soit les fournisseurs acceptent les systèmes d'approvisionnements à haute fréquence, soit ils s'installent à proximité des usines du constructeur. Certains équipementiers pratiquent d'ailleurs les deux solutions. Ainsi Faurecia, spécialiste du siège auto, est à la fois dans l'usine Renault de Sandouville (*cf.* Repères page suivante), très proche des usines PSA de Sochaux et de Mulhouse, et enfin à une centaine de kilomètres de l'usine MCC de Smartville. Dans ce dernier cas, des livraisons en bord de chaîne ont lieu environ toutes les trois heures. Quelle que soit l'organisation industrielle retenue, les nouvelles pratiques coûtent chers aux équipementiers. L'augmentation de la fréquence des approvisionnements ou la multiplication des implantations provoquent, au moins à court terme, une réduction de leur rentabilité. Il n'est pas certain qu'elle soit compensée par les gains de productivité normalement associés.

Devant les exigences croissantes des firmes leaders (donneurs d'ordres ou grands distributeurs), notamment en termes de délais et de qualité requise, et en dépit des mots d'ordre à la mode (zéro stock), les fournisseurs sont souvent obligés de se protéger contre les fluctuations aléatoires en constituant des stocks. Quelques enquêtes ont montré qu'un pourcentage croissant de firmes leaders transférait leurs stocks vers les fournisseurs. Ainsi, tous les frais traditionnellement associés au stockage<sup>2</sup> sont eux

1. Le terme en bord de chaîne signifie que le composant ou le module qui est livré ne subit pas un stockage intermédiaire ; l'équipementier le livre directement à l'endroit où son intégration dans la chaîne de montage est prévue.

2. *Cf.* chapitre 3 : frais de personnel, entrepôts, matériels de transport, frais financiers, etc.

aussi transférés vers les fournisseurs. L'économie qui en résulte pour les donneurs d'ordre est considérable. Trois éléments accentuent ce phénomène :

- la réduction des coûts de lancement des commandes, grâce aux technologies de l'information et de la communication : les coûts de possession, toujours élevés, sont à la charge du fournisseur alors que les faibles frais de lancements poussent la firme leader à accroître la fréquence des livraisons ;
- la grande diversité des pièces et des modules : les stratégies de différenciation des produits, imposées par la concurrence, conduisent à une croissance exponentielle des références ; pour des raisons de coûts et de complexité, les constructeurs transfèrent à chaque fois que c'est possible la gestion de cette diversité aux fournisseurs ;
- *la monosourcing* : les constructeurs ne font souvent appel pour une référence qu'à un seul fournisseur ; la volonté d'avoir un niveau de service proche de 100 % le conduit à fixer des stocks de sécurité élevés.

Enfin, n'oublions pas que les plus fervents défenseurs du DRP, de la GPA ou du CPFPR sont les sociétés de conseil et les fournisseurs de logiciels intégrés. C'est pourquoi il est parfois possible de constater le manque d'objectivité d'articles publiés dans certaines revues spécialisées, écrits par des membres de cabinets conseil, forcément peu enclins à s'attarder sur les limites et les inconvénients de méthodes dont ils tirent une partie de leur revenu. Malgré ces réserves, nous sommes convaincus de leur intérêt et pensons qu'elles occuperont progressivement une place prépondérante au sein de la chaîne logistique.

## **REPÈRES :** La gestion des flux : le cas de l'usine Renault Sandouville<sup>1</sup>

Initialement créée pour produire la R16, l'usine de Sandouville est aujourd'hui dédiée à la production des modèles haut de gamme : la Laguna II, la Laguna Estate, la Vel Satis et l'Avantime (respectivement remplaçante de la Safrane et de l'Espace). Les objectifs de Renault sont multiples ; parmi ceux qui nous intéressent de façon évidente, on trouve :

- *Mettre le client au cœur du processus* : la gestion de la relation client<sup>2</sup> ne concerne plus uniquement les services marketing, mais s'élargit à la logistique, dont le rôle est de fournir exactement les caractéristiques désirées dans les délais les plus brefs. Renault met en œuvre un chantier appelé PND (politique nouvelle de distribution) afin de réduire le délai de livraison moyen de 8 semaines à 2 semaines.

1. Adapté d'un dossier réalisé en avril 2001 par A. Duboc, B. Évrard, S. Raymond, étudiants du *DESS logistique* de l'université Paris I Panthéon Sorbonne. Ces derniers ont obtenu un entretien au sein du *département logistique intégrée* de Renault Sandouville avec deux responsables des approvisionnements et des flux, Mme C. Miguel et Mme C. Hervieu.

2. L'usage du terme CRM est tout aussi fréquent (Customer Relationship Management).

- *Réduire les stocks* : qu'il s'agisse des composants, des en-cours ou des produits finis, Renault souhaite tendre vers le zéro stock. L'approvisionnement synchrone est étendu au maximum de situations possibles, notamment grâce à la création en 1999 du parc industriel de fournisseurs (le PIF) sur le site même de Sandouville.

Concrètement, le PIF est un aménagement de l'usine de Sandouville ; 36 000 m<sup>2</sup> sont ainsi destinés aux fournisseurs de premier rang de Renault. Faurecia (sièges), Allibert (planches de bord, tapis), Inoplast (portes de coffre), Antolin, Solvay et Uta devraient bientôt être rejoints par d'autres fournisseurs. La création du PIF conduit Renault à bénéficier d'une série d'avantages :

- la mise en place de l'appel synchrone, grâce à la proximité des fournisseurs, permet à Renault de tendre vers le zéro stock et de reporter la gestion et le coût des stocks sur le fournisseur ;
- la suppression des intermédiaires habituels du fait de circuits d'approvisionnement ultracourts permet une réduction des coûts, ainsi qu'une amélioration de la réactivité du processus ;
- de plus, pour les mêmes raisons, les risques de pertes liés à la multiplicité des interfaces, ainsi que les dégradations liées au transport sont minimisés.

Comme nous le précisons plus haut, Renault est particulièrement exigeant dans le choix de ses fournisseurs : un audit très sérieux aux critères sévères est systématiquement effectué. Une fois retenu, c'est à l'équipementier à s'adapter aux diverses contraintes du constructeur. Certaines sont prévisibles, d'autres supposent une grande capacité d'adaptation. La rigueur de la sélection s'explique par le fait que le fournisseur d'un composant est généralement unique ; toute rupture d'approvisionnement a donc de graves conséquences sur l'ensemble du processus productif. Il faut savoir qu'un arrêt de chaîne est lourdement facturé au fournisseur responsable (plusieurs dizaines de milliers d'euros l'heure de retard). C'est pourquoi, lorsque Renault prévoit une rupture, certains fournisseurs n'hésitent pas à livrer l'usine en urgence par des moyens peu classiques et coûteux (avions, hélicoptères), mais qui s'avèrent cependant moins onéreux que les pénalités.

Le fonctionnement global du système d'approvisionnement, c'est-à-dire l'expression des besoins en composants de Renault vers ses fournisseurs, s'appuie sur le *film véhicule*. Ce dernier est une énumération des véhicules que l'usine doit prévoir de sortir de la chaîne, en un point caractéristique appelé tombée de chaîne mécanique (TCM). Le film est construit pour une journée et il évolue quotidiennement. Sur une base proche de la technique MRP, le film s'éclate en références : les besoins sont alors exprimés aux différents fournisseurs par le biais d'un système d'EDI.

Lors de la construction du film, dans le cadre d'un système appelé GPI (Gestion de production intégrée), toutes les contraintes liées à la fabrication et à la livraison des pièces sont prises en compte ; il s'agit notamment :

- des contraintes internes de fabrication : par exemple, l'enchaînement de certains types de modèles n'est pas possible, certains véhicules sont beaucoup plus difficiles à construire que d'autres, etc. ;
- des contraintes de capacité chez les fournisseurs : par exemple, lorsque les films évoluent fortement à la hausse par rapport au programme prévisionnel de consommation, Renault doit tenir compte des difficultés de certains fournisseurs à fournir les pièces.

Renault a mis en place trois process d'approvisionnement :

- le CPL1 (CPL = centre de prestation logistique) : un prestataire indépendant assure le transport des pièces d'un entrepôt situé à proximité de l'usine vers celle-ci, en fonction des réquisitions. Le bâtiment et le stock appartiennent à Renault ;
- le flux synchrone : les pièces sont directement envoyées sur la chaîne de production, dans un délai très bref, sur le modèle défini plus haut ;
- le L3P (logistique performante programmée au service du poste) : afin d'affiner les approvisionnements, une analyse des besoins est réalisée selon les pièces. Pour certaines références, donc pour certains fournisseurs, les demandes de livraison (DL) seront hebdomadaires ou quotidiennes ; pour d'autres, les demandes de livraison seront multiquotidiennes (DLMQ) par tranche de deux heures. Ainsi, la plupart des fournisseurs du PIF disposent d'un plan de livraisons multiquotidiennes.

Malgré quelques petits accroc inévitables, la chaîne logistique de Renault semble performante et, comme ce fut souvent le cas du secteur automobile, elle inspire d'autres secteurs et diffuse ses pratiques dans une grande partie de l'industrie, notamment par l'intermédiaire des équipementiers.

## 4 Le *cross-docking*, outil logistique privilégié d'une stratégie ECR

Le *cross-docking* constitue un exemple de logistique collaborative et un élément essentiel de l'ECR. Fondamentalement parce que les distributeurs tentent de minimiser leurs stocks, le *cross-docking* est devenu aujourd'hui une pratique courante.

### 4.1 Définition et caractéristiques essentielles

Il s'agit d'un concept dont la définition n'est pas encore à ce jour totalement stabilisée. La plupart des spécialistes retiennent cependant la définition suivante. Le *cross-docking* est un schéma logistique dans lequel le fournisseur livre ses produits à la plate-forme du distributeur en ayant préalablement tenu compte des besoins spécifiques des différents points de vente, à la fois dans leur conditionnement et dans la signalisation de leur destination. Le *cross-docking* limite ainsi la manipulation des produits puisque la constitution de lots dès le départ des usines s'y substitue. Comme la traduction littérale le suggère, les marchandises ne font que « traverser le quai » (ou subissent un transbordement de quai à quai) : déchargées par palettes ou par cartons, identifiées par lecture optique, puis triées, elles sont ensuite réexpédiées vers les destinataires ultimes, les magasins commerciaux.

Malgré l'usage majoritaire de cette définition, certains préfèrent parler de Flow Through Distribution. Il s'agit effectivement d'une pratique qui a pour objectif la suppression des stocks dans les centres de distribution et qui recouvre deux méthodes :

- le *cross-docking* : il correspond à l'éclatement sur la plate-forme de la livraison du fournisseur, suivie par l'allotissement effectué par le distributeur ;
- le trans-shipment : dans ce cas, l'éclatement sur la plate-forme est précédé par l'allotissement (commande préallotie) réalisé par le fournisseur.

Pour notre part, nous préférons conserver la première définition. Notamment parce que les marchandises sont moins manipulées du fait d'une préparation préalable en sortie d'usine, le *cross-docking* permet de réduire :

- *les délais de réapprovisionnement* des points de vente<sup>1</sup> : couplé à un réseau logistique bien structuré et utilisant les techniques modernes de scanning (codes à barres), le *cross-docking* est une méthode rapide qui procure des gains de temps par rapport à une chaîne logistique traditionnelle avec stockage intermédiaire ;
- *les risques d'erreurs* : chaque fournisseur étant responsable de la constitution de ses propres commandes, les chances de se tromper sont moindres par rapport à une situation où le distributeur est occupé à gérer les besoins de dizaines de magasins ;
- *le taux de détérioration* des marchandises : en restant dans leur conditionnement d'origine, elles sont bien mieux protégées.

Finalement, le *cross-docking* est aussi une technique qui suppose un certain degré de collaboration entre le fournisseur et le distributeur. Les stocks et une partie des coûts logistiques antérieurs sont maintenant reportés en amont. Le partage de la rente du distributeur dépendra donc des forces en présence. Il est possible qu'une négociation efficace permette au fournisseur d'obtenir une compensation équitable des efforts entrepris à l'occasion de la mise en œuvre du *cross-docking*. Cependant, il ne faut pas systématiquement considérer que cette pratique oppose fournisseurs et distributeurs ; en effet, ces deux acteurs peuvent appartenir à la même entreprise, auquel cas, la stratégie est globalement gagnante. Afin d'illustrer ces propos, nous étudierons le fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement de Décathlon et la façon dont le *cross-docking* est mis en œuvre dans cette entreprise.

## 4.2 Le *cross-docking* en pratique : le cas de la chaîne logistique de Décathlon

Décathlon possède deux grands types de fournisseurs : les grandes marques internationales (GMI), telles que Nike, Reebok, et les sous-traitants, qui fabriquent les produits vendus notamment sous la marque Décathlon. Afin de limiter les risques, un même article peut être produit par plusieurs sous-traitants différents. Ces derniers réalisent la fabrication selon un cahier des charges technique et commercial. Décathlon n'achète pas sur catalogue. Les sous-traitants sont majoritairement

1. À cause des contraintes de plus en plus sévères pesant sur les dates de péremption des produits frais vendus en grande surface, le *cross-docking* est aujourd'hui presque toujours utilisé pour cette catégorie de denrées (crèmes dessert, yaourts, fromages, etc.).

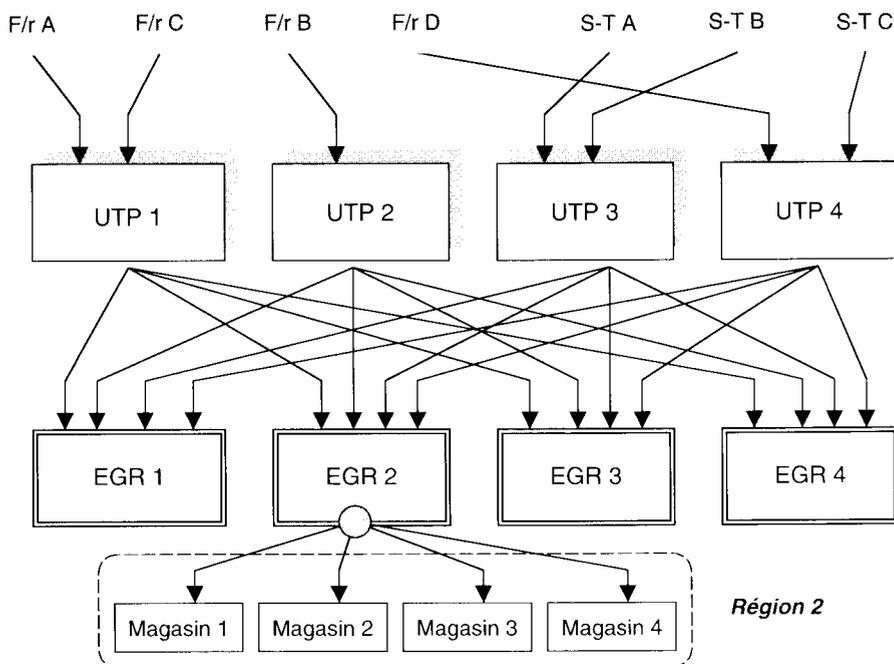


Figure 5.9 : L'organisation logistique de Décathlon

des entreprises françaises ; le reste se partage à peu près équitablement entre les autres pays d'Europe et ceux du reste du monde.

Les flux logistiques sont organisés selon trois niveaux principaux, comme l'indique la figure 5.9 (où F/r signifie fournisseur et S-T sous-traitant) :

Sur notre figure, le nombre d'acteurs représenté est évidemment réduit pour des raisons de place, car Décathlon possède des centaines de fournisseurs et sous-traitants. Dans la réalité, on trouve une dizaine d'UTP (unité de transit producteurs), sorte de plate-forme principale, premier point d'entrée des marchandises dans la « sphère » Décathlon. On trouve ensuite les EGR (entrepôt grossiste régional), qui reconstituent le plus fidèlement possible la gamme que les clients trouveront en magasin. Enfin, il y a environ 250 magasins commerciaux, dont les trois-quarts sont en France. Ces derniers sont répartis par grande région. Fréquemment, UTP et EGR sont réunis au sein d'un même pôle logistique ; il en va ainsi de la plate-forme logistique de Brétigny (Essonne) que nous avons étudiée.

Il existe actuellement deux modes de circulation des flux (cf. figure 5.10) :

- un *mode classique* avec stockage des produits dans les UTP puis dans les EGR ;
- un *mode cross-docking* avec stockage différencié des produits dans les UTP (zone « faibles ventes ») puis transit par les EGR (flux matérialisés par des flèches en pointillés).

► **Description du fonctionnement classique**

- chaque fournisseur ou sous-traitant ne livre qu'à un seul UTP, qui stocke les produits ; en revanche, un UPT peut recevoir un même produit de plusieurs fournisseurs ou sous-traitant ;
- chaque UTP livre tous les EGR, qui stockent les produits et attendent les commandes des magasins ; contrairement aux UTP spécialisés dans un nombre limité de produits, chaque EGR dispose de toute la gamme vendue en magasin ;
- chaque EGR livre uniquement les points de vente qui se situent dans sa région (entre 15 et 30 magasins selon les régions).

► **Description du fonctionnement en cross-docking**

Certains produits ne suivent pas le cheminement classique et sont directement livrés aux magasins sans être préalablement stockés dans un EGR, où ils ne passent qu'en transit. Il s'agit notamment des produits coûteux (planche de musculation sophistiquée) et des consommables (balles de tennis). De 15 % environ il y a trois ans, la part du *cross-docking* est aujourd'hui de 25 %. Selon P. Germain, la restructuration de la logistique conduira à une augmentation de ce pourcentage ; dans le futur, 50 % des flux devraient relever du *cross-docking*.

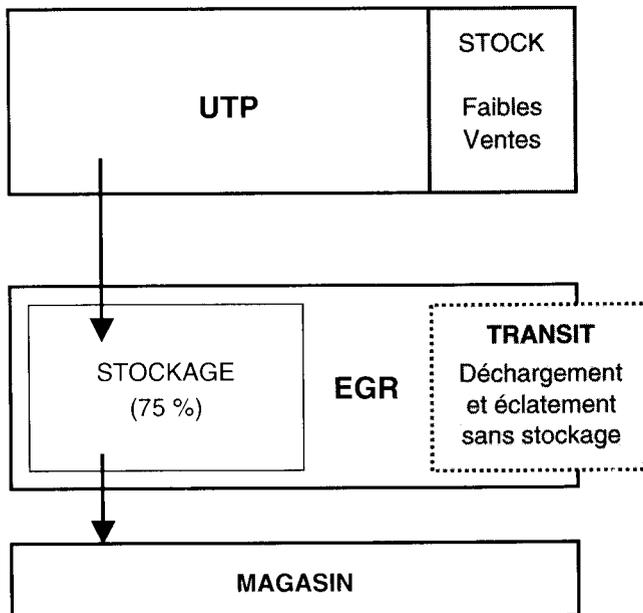


Figure 5.10 : Stockage traditionnel et *cross-docking*

À l'instar de ce qui est dit dans le paragraphe consacré à la définition, cela permet d'éviter de stocker dans les EGR les références coûteuses, peu vendues, pour lesquelles les clients acceptent généralement un délai de livraison de deux ou trois jours. Localiser le stock de tels produits uniquement dans les UTP permet d'importantes économies. Pour un grand nombre de consommables, cela permet d'éviter des passages en stock EGR totalement improductifs. Par exemple, lorsqu'un magasin commande des balles de tennis, il serait absurde, vue la nature du produit, de commander une petite quantité de boîtes. Les commandes concernent des lots substantiels, souvent matérialisés par un conditionnement en cartons. Puisque le carton n'a pas besoin d'être ouvert, afin d'extraire quelques unités non demandées, la commande sera gérée en *cross-docking*. Dans un souci de simplification des flux, les responsables logistiques ont décidé qu'il en serait de même lorsque la commande effectuée par le magasin est supérieure à la moitié du nombre de produits contenus dans le conditionnement type (carton, ou autres). Chez Décathlon, on parle alors de *commande open*.

Par exemple, si le carton standard de boîtes de balles de tennis de marque Wimbelros contient 50 boîtes, lorsqu'un magasin passe une commande :

- supérieure à 25 boîtes, la commande sera directement orientée vers l'UTP dépositaire de la marque et le magasin recevra un carton plein, qui aura simplement transité par l'EGR qui couvre géographiquement le magasin demandeur ;
- inférieure ou égale à 25 boîtes, la commande sera alors gérée classiquement par l'EGR concerné et le magasin recevra exactement le nombre de boîtes demandé.

Pour que cette procédure puisse être appliquée, le produit doit préalablement appartenir à la liste des produits éligibles à une « commande open ». Les produits coûteux sont rarement éligibles car les livraisons par multiple de lot conduiraient souvent le magasin à des immobilisations financières non souhaitées, provenant de la différence entre la taille du lot de base livré et la commande réelle.

Dans la mesure où le *cross-docking* permet de simplifier les flux, de réduire les frais de stockage et de raccourcir les délais de livraison, son utilisation va s'amplifier dans la nouvelle organisation logistique de Décathlon, que Pascal Germain nous a succinctement décrite. Il s'agirait d'un processus de *cross-docking* à deux niveaux, comme l'indique la figure 5.11.

Section  
**3**

## STANDARDS ET INFRASTRUCTURES AU SERVICE DE LA LOGISTIQUE

Les acteurs successifs de la chaîne logistique sont souvent nombreux ; par exemple, dans le cas d'un composant importé, plusieurs modes de transport peuvent être plusieurs fois nécessaires (bateau, train, camion). Chaque nouvel intervenant doit pouvoir travailler vite et sans risque d'erreur, de perte ou de dégradation. C'est pourquoi l'usage de normes internationales, tant dans le domaine des échanges de

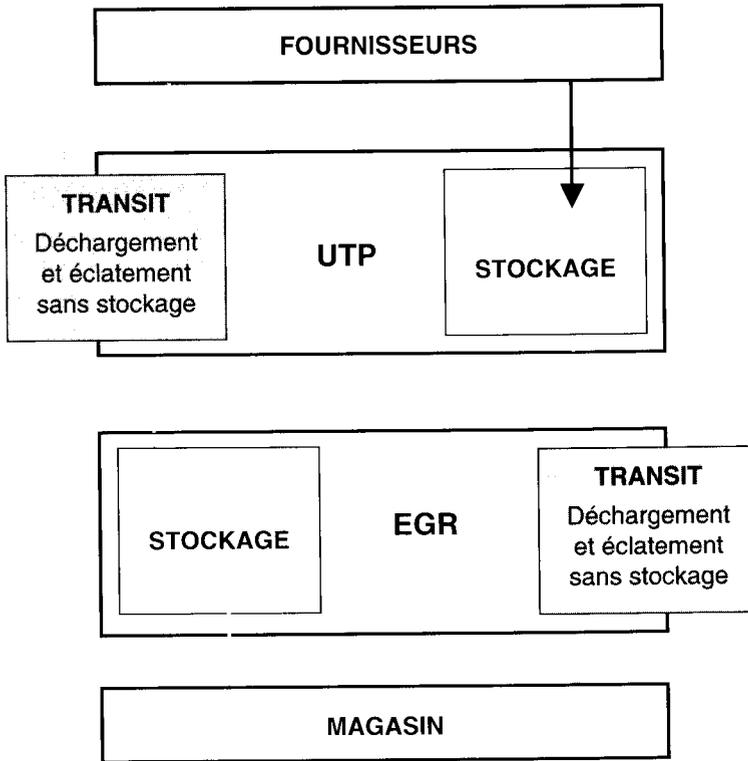


Figure 5.11 : Évolution probable de la chaîne logistique

données, que dans celui de la traçabilité, s’est progressivement imposé aux multiples intervenants [1]. Par ailleurs, comme nous le suggérons déjà dans la section précédente à l’occasion du cas Décathlon, la reconfiguration actuelle de la logistique conduit à privilégier les organisations fonctionnant autour de vastes réseaux constitués d’entrepôts de stockage géants et de plates-formes recourant de plus en plus au *cross-docking* [2]. Afin d’illustrer de façon concrète un certain nombre d’éléments théoriques, nous présenterons l’organisation et le fonctionnement de Ford France dans le domaine des pièces de rechange [3].

## 1 L’échange de données informatisé et l’identification des unités logistiques

### 1.1 Définition et principes de fonctionnement

L’Electronic Data Interchange est né aux Etats-Unis dans le milieu des années 70 dans le but d’améliorer les transferts d’informations entre les divers acteurs de la chaîne logistique (transporteurs, producteurs, transitaires, distributeurs, etc.). L’objectif

de l'EDI est de simplifier les échanges de documents banalisés associés aux flux de marchandises, grâce à l'automatisation des procédures répétitives : avis d'expédition, avis de réception, facture, avis de paiement, etc. Selon F. Leslé et N. Macarez<sup>1</sup>, l'EDI correspond à « un transfert de données structurées et encodées selon un langage adopté par le plus grand nombre de partenaires ; ce transfert s'effectue en empruntant divers réseaux de télécommunication, d'application à application, ces dernières étant installées sur des systèmes d'information hétérogènes ».

Sur le plan technique, les échanges utilisent une liaison informatique exploitant des réseaux tels que Transpac ou Numéris (ou Internet, mais ce point sera abordé dans la section 4). Ainsi, le fonctionnement de l'EDI suppose l'utilisation :

- d'un réseau à valeur ajoutée (RVA) : il s'agit d'un réseau de télécommunication géré par un opérateur, par exemple France Télécom, offrant la possibilité à des systèmes d'information différents de communiquer entre eux (Allégro et Atlas 400 sont des RVA particulièrement connus) ;
- de systèmes informatiques de traduction permettant à chaque partenaire de transcrire les informations codifiées sous une forme exploitable par son propre système d'information ;
- d'un langage standard : en France, les plus connus sont GENCOD dans la grande distribution et ODETTE<sup>2</sup> dans l'automobile.

Bien que ces langages standards, nationaux et sectoriels, soient encore utilisés, la tendance est à la migration vers un langage standard, international et multisectoriel, la norme UN/EDIFACT (United Nations/Electronic Data Interchange for Administration Commerce and Transport)<sup>3</sup>.

La figure 5.12 donne quelques exemples des messages les plus connus et utilisés en logistique dans le cadre d'une relation GPA.

*Remarque* : comme il est assez rare que le distributeur modifie le plan d'approvisionnement (encore appelé proposition de commande, Orders Proposal), certaines entreprises ont purement et simplement adopté une méthode de validation systématique du plan. C'est par exemple le cas de Procter & Gamble.

## 1.2 Avantages et enjeux de l'EDI

L'avantage principal des échanges informatisés d'informations se situe dans le fait que les nombreuses ressaisies de documents, tout au long de la *supply chain* deviennent inutiles. Il en découle presque automatiquement des gains de temps et une réduction des taux d'erreurs. Moins d'erreurs signifient moins de litiges avec les

1. F. Leslé, N. Macarez, *Le Multimédia*, Paris, PUF, 1998.

2. GENCOD : Groupement d'études de normalisation et de codification – ODETTE : Organisation de données échangées par télétransmission en Europe.

3. EANCOM est le langage EDI utilisé en Europe mais basé sur la norme EDIFACT proposée par les Nations-Unies.

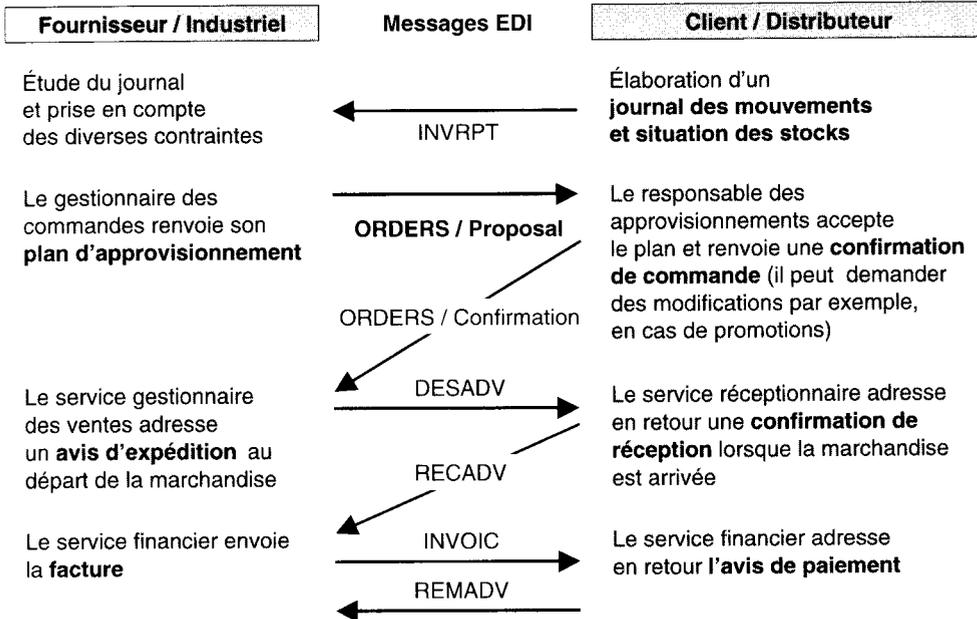


Figure 5.12 : Flux d'information dans une logistique en GPA

partenaires commerciaux. Quant aux gains de temps, ils se traduisent par la réduction des cycles commerciaux commande/livraison et facturation/paiement.

Ainsi, dans le domaine de la logistique, l'EDI améliore les relations entre partenaires ; il permet par exemple d'informer le client des principales caractéristiques des livraisons, ou d'aviser un constructeur organisé en flux synchrones d'un approvisionnement ultérieur. De plus, comme le montre la figure précédente, l'EDI est le moyen privilégié d'organiser une GPA efficace entre un fabricant et un distributeur.

### 1.3 L'étiquette logistique EAN-UCC

L'efficacité de la logistique passe par la rigueur dans l'organisation des flux et l'utilisation de standards, tant sur le plan de la communication que sur le plan physique. Tout au long de la *supply chain*, qu'elle soit courte ou longue, producteurs, transporteurs, grossistes, distributeurs... manipulent constamment des *unités logistiques* (UL) ; cartons, colis, et palettes doivent donc être parfaitement identifiés, pour arriver au bon endroit au bon moment, selon les principes du juste-à-temps. Les normes internationales EAN (European Articles Number) offrent une solution reconnue pour :

- identifier efficacement les UL,
- simplifier la saisie des informations relatives à ces unités,
- et faciliter les échanges d'informations entre partenaires (notamment à l'aide des étiquettes autorisant la lecture optique).

Il faut préalablement préciser qu'il existe deux grandes catégories d'UL ; ainsi, on distingue :

- les unités logistiques standards (ULS), c'est-à-dire inscrites au catalogue du fournisseur (par exemple : palettes, box-palettes, cartons, etc.), et qui regroupent un nombre fixe d'unités-consommateur identiques ;
- les unités logistiques non standards (ULNS), c'est-à-dire constituées de façon spécifique à l'occasion de la commande d'un client.

Les ULS sont identifiées par un code à 14 chiffres, composé par le créateur de l'unité logistique. Ce dernier peut choisir le code EAN 13 ou EAN 14. En revanche, les ULNS sont identifiées par un numéro de 18 chiffres, appelé numéro séquentiel de colis ou SSCC (Serial Shipping Conteneur Code)<sup>1</sup>. Quel que soit le code, il peut être traduit par un symbole EAN 128, qui est un code à barres reconnu et très fiable.

Afin d'offrir aux entreprises un moyen encore plus efficace d'identifier les UL et d'améliorer l'intégration entre partenaires de nationalités parfois différentes, l'ensemble des organisations ECR, dont ECR France, encourage l'utilisation de l'étiquette logistique standard UCC/EAN 128.

Ainsi, l'étiquette logistique UCC/EAN 128 donne des informations sur l'objet sur lequel elle est apposée. Comme l'indique la figure 5.13, elle est divisée en 3 sections distinctes, correspondant à trois types d'informations, qui peuvent être connus et imprimés à des moments différents de la chaîne logistique :

- les informations relatives au produit, généralement connues lors de la fabrication : désignation du produit, poids, numéro du lot, SSCC, date de fabrication, date limite de consommation, etc.
- les informations relatives aux destinataires, le plus souvent connues lors de la réception de la commande : numéro de commande, désignation du client ;
- les informations relatives à l'expédition, connues au moment de l'expédition : désignation du transporteur, numéro de l'avis d'expédition, code postal du destinataire.

Ces éléments sont traduits en codes à barres standards EAN 128. Cette étiquette est l'*interface* entre les informations transmises par EDI et le flux physique des marchandises. Elle contribue à éviter les redondances d'informations, et à ce titre diminue les risques d'erreurs, d'autant plus élevés que la chaîne d'approvisionnement est étendue. En règle générale, c'est le producteur qui appose l'étiquette ; elle sera ensuite utilisée par l'ensemble des acteurs de la *supply chain*. Chaque étiquette logistique UCC/EAN 128 doit au moins contenir le SSCC. Ainsi, sur le plan logistique, cette étiquette est d'une grande utilité puisqu'elle assure :

---

1. Le SSCC peut également être utilisé pour les ULS. En effet, le SSCC permet d'identifier de façon unique une unité d'expédition, indépendamment de son contenu, à des fins de suivi individuel. Il est conçu pour garantir son unicité sur le plan international. Chaque entreprise possède son propre numéro et peut coder chacun de ses lieux logistiques (entrepôt, plate-forme ou tout autre lieux). Dans le monde, plus d'un million d'entreprises utilisent ce standard.

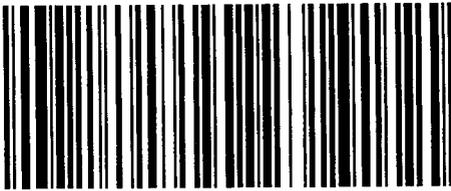
Expéditeur <b>Société P.....</b> 48, rue Henri 37000 TOURS Date de livraison : 01/12/99	Destinataire <b>Ste SUP.....</b> 50 rue N 59800 LILLE FRANCE
Consignment N° (N° expédition) 3011234500102 12345678 Carrier (transporteur) Transport D.....	Ship to Post (livrer à) 59800 COLIS (UE) N° <b>2/8</b>
 (420)59800(401)301123450010212345678	
 (410)3021231234500	Ship to loc (livrer à) 3021231234500 Order Number (N° cde) 3021234512300 12345678
<b>Désignation produit</b> <b>SSCC</b> 331234512345678917 <b>GTIN</b> (EAN N°) 03123451234569 Use by (D.L.C.) ddmmyy <b>31.12.99</b>	
 (01)03123451234569(17)991231	
 (00)331234512345678917	

Figure 5.13 : Étiquette logistique UCC/EAN 128

- la traçabilité de l'unité logistique, grâce au numéro séquentiel de colis,
- la traçabilité des produits, grâce à leurs numéros de lot de fabrication ou de série,
- le contrôle de réception avec les quantités,
- le contrôle de qualité avec les dates de fabrication et de validité.

Dans un contexte où la sécurité alimentaire devient un enjeu majeur, tant pour les fournisseurs que pour les distributeurs, l'usage d'une telle codification est un gage de transparence et de qualité. Depuis quelques années, presque toutes les grandes enseignes ont initié des projets visant à permettre la traçabilité des marchandises à travers la mise en œuvre d'une traçabilité des unités logistiques.

## **REPÈRES :** Les outils de la traçabilité

Dans le cadre du projet Star-Trac (sécurité et traitement automatisés rationalisés – traçabilité) Carrefour demande à ses fournisseurs d'utiliser l'étiquette logistique UCC/EAN 128 munie du SSCC. Le responsable des systèmes entrepôts précise effectivement que : « *on raisonne désormais en unité logistique en identifiant chaque palette par un SSCC unique. L'unité logistique complète munie de son étiquette peut donc être suivie sur la totalité de la chaîne avec ce numéro* ». <sup>1</sup>

Certains fournisseurs de Carrefour participent activement à la mise en œuvre d'une traçabilité totale, notamment grâce à l'utilisation systématique de l'étiquette logistique pourvue du SSCC, de la lecture optique des codes à barres et de la transmission par EDI de l'avis d'expédition (message DESADV). D'autres, moins performants, se contentent du SSCC... ou ne font usage d'aucun de ces outils. Carrefour souhaite d'une part convaincre tous ses fournisseurs d'adopter de telles méthodes et d'autre part étendre cette stratégie à toutes les enseignes du groupe.

Ainsi, lorsqu'ils sont correctement utilisés, les standards de communication EAN (par exemple l'EANCOM et l'UCC/EAN 128) assurent l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement, tant au niveau national qu'international, et la traçabilité des produits <sup>2</sup>.

1. *Stratégie Logistique*, n° 31, novembre 2000.

2. On trouvera de très intéressantes informations sur l'usage conjoint de l'EDI et de l'étiquette logistique dans un document édité par ECR France : *L'Étiquette logistique et l'avis d'expédition. manuel des meilleures pratiques*, juillet 1999.

### **1.4 Quelques chiffres sur la standardisation des pratiques logistiques**

Une enquête réalisée par GENCOD-EAN France auprès de 1 000 entreprises industrielles françaises (dont le chiffre d'affaires est supérieur à 6 MF) montre que la logistique est de plus en plus codifiée. Les résultats principaux de l'enquête sont les suivants <sup>1</sup> :

- L'intégration des standards EAN dans les applications logistiques progresse à grands pas :
  - les palettes mais surtout les cartons sont codifiés,

1. Les détails des résultats de l'enquête figurent dans la revue d'information de GENCOD-EAN France, juin 2000, n° 74.

- le numéro séquentiel de colis (SSCC) figure sur les palettes,
  - l'utilisation de la lecture optique à des fins logistiques s'accroît fortement (préparation d'expédition, réception, stockage, etc.).
- Les outils d'échanges de données sont utilisés de manière croissante :
- en moyenne, 61 % des fournisseurs de l'échantillon utilisent des outils d'échange de données de type EDI, Internet ou EDI/Internet ;
  - ce pourcentage passe à 86 % lorsque la firme dépasse les 100 MF de CA, mais il tombe à 40 % lorsque le CA est inférieur à 10 MF ;
  - l'EDI reste majoritaire (50 % des fournisseurs de l'échantillon utilisent l'EDI) mais perd de l'importance face à l'arrivée d'Internet ;
  - les réseaux à valeur ajoutée tels que Allegro ou Atlas 400 sont toujours largement utilisés ;
  - les messages EDI sous le standard EANCOM sont de plus en plus utilisés, et tendent progressivement à remplacer la norme Gencod.

## 2 Les réseaux logistiques

Nous savons déjà qu'entrepôt et plate-forme ne recouvrent pas la même fonction ; en effet l'entrepôt est dédié au stockage « long » (de plusieurs jours à plusieurs semaines) alors que la plate-forme est dédiée au stockage « court », c'est-à-dire au transit (normalement, de quelques heures à un ou deux jours au maximum). Les stratégies actuelles des entreprises consistant à réduire leurs stocks et augmenter la fréquence des approvisionnements provoquent d'importantes réorganisations des réseaux logistiques. Ces derniers s'orientent de plus en plus vers une configuration où les entrepôts centraux desservent des plates-formes régionales.

### 2.1 Les structures types

#### ► *Structure point à point sans rupture de charge*

Dans ce cas, les infrastructures sont réduites au minimum mais les transports sont nombreux, comme le montre la figure 5.14. Cette structure ne peut pas être envisagée lorsque les fournisseurs et les points de vente de l'entreprise sont trop nombreux. En revanche, elle minimise les risques de perte et de détérioration des produits.

Par exemple, si l'entreprise s'adresse à 60 fournisseurs et qu'elle dispose de 15 magasins, cela conduit à 900 liaisons point à point. C'est considérable et particulièrement coûteux, tant sur le plan du transport que sur celui du stockage en magasin, souvent encouragé pour limiter la fréquence des livraisons.

En excluant l'éventualité de circuits de livraison, chaque fournisseur doit faire partir 15 camions ; imaginons que la périodicité soit hebdomadaire et qu'il s'agisse d'une livraison de 10 tonnes de marchandises (quel que soit le fournisseur – à titre de simplification).

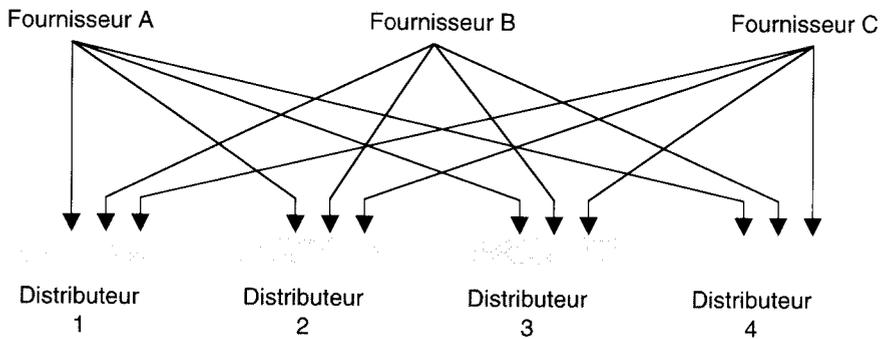


Figure 5.14 : Liaisons point à point sans rupture de charge

► *Structure avec stock central et rupture de charge*

Comme on peut le constater sur la figure 5.15, la centralisation réduit mécaniquement le nombre de liaisons et peut permettre de réaliser des économies d'échelle sur le transport. Sur la base des 60 fournisseurs et des 15 points de vente, cette structure conduit théoriquement à 75 liaisons. Dans la pratique, encore faut-il qu'elles soient possibles, en considération de la charge maximale que les camions peuvent transporter.

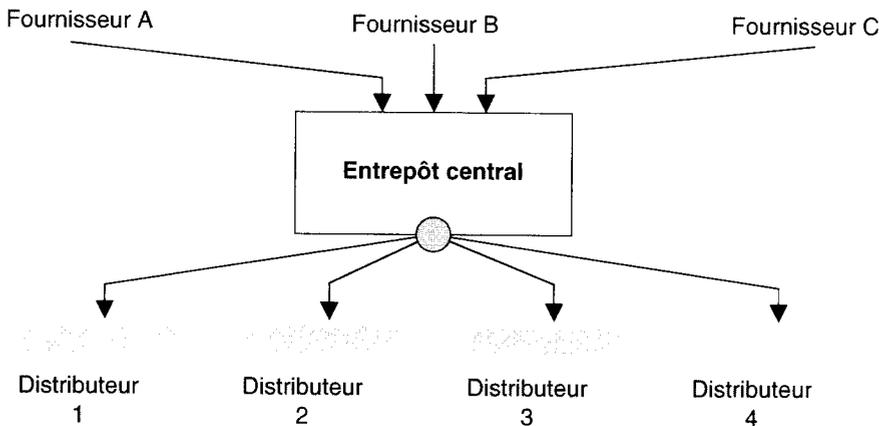


Figure 5.15 : Réseau logistique construit autour d'un entrepôt central

Ainsi, chaque fournisseur doit livrer 150 tonnes par semaine à l'entrepôt central. Si l'entreprise dispose de camions de 38 tonnes, 4 camions ou 4 livraisons suffiront. Cela nous conduit à 240 liaisons entre les fournisseurs et l'entrepôt central (60 fournisseurs, 4 livraisons). Cependant, chaque livraison est optimale car le camion est plein, alors que dans la structure point à point, le fait que les camions ne transportent que 10 tonnes n'était pas satisfaisant. De plus, chaque point de vente doit recevoir 600 tonnes de marchandises par semaine. Cela conduit à prévoir 16 camions de 38 tonnes pour chaque distributeur. Soient 240 liaisons entre l'entrepôt central et les magasins (15 points de vente, 16 livraisons). Au total, cela conduit à 480 liaisons, soit environ deux fois moins que dans le cas précédent, mais bien plus que ne le laissait supposer le schéma.

► **Structure avec entrepôts spécialisés et rupture de charge**

La grande distribution procède souvent de la sorte (cf. figure 5.16). Cela permet de regrouper certaines catégories de produits dans des entrepôts spécialisés, par exemple réfrigérés. Cette structure améliore la qualité du stockage et la traçabilité des marchandises. Dans certains cas, par exemple pour les produits frais, l'entrepôt peut accueillir une zone de *cross-docking* (C-D) afin de réduire les délais de livraison.

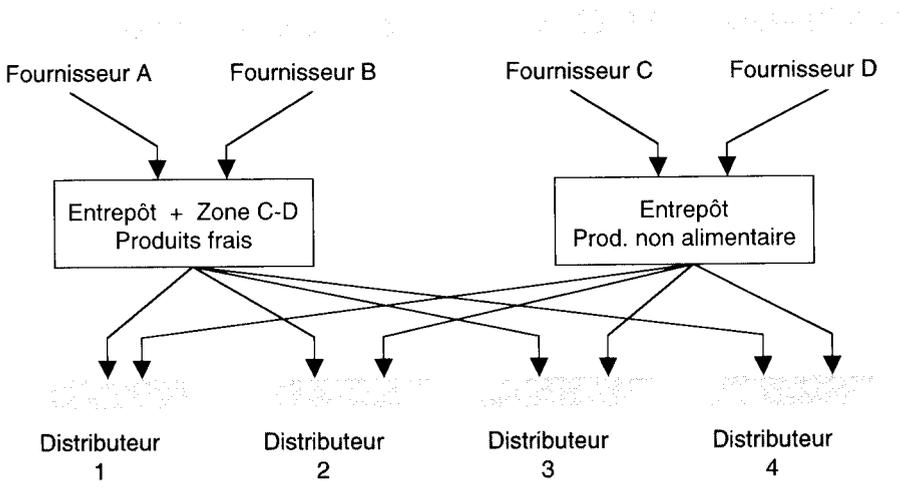


Figure 5.16 : Réseau logistique avec entrepôts spécialisés

► **Structure avec stock central et plates-formes d'éclatement et double rupture de charge**

Dans ce schéma (figure 5.17), on constate l'utilisation de plates-formes, proches des marchés de consommation servis par les magasins. L'importance du stock que l'entrepôt central conserve est fonction de la nature des produits. Ce schéma logis-

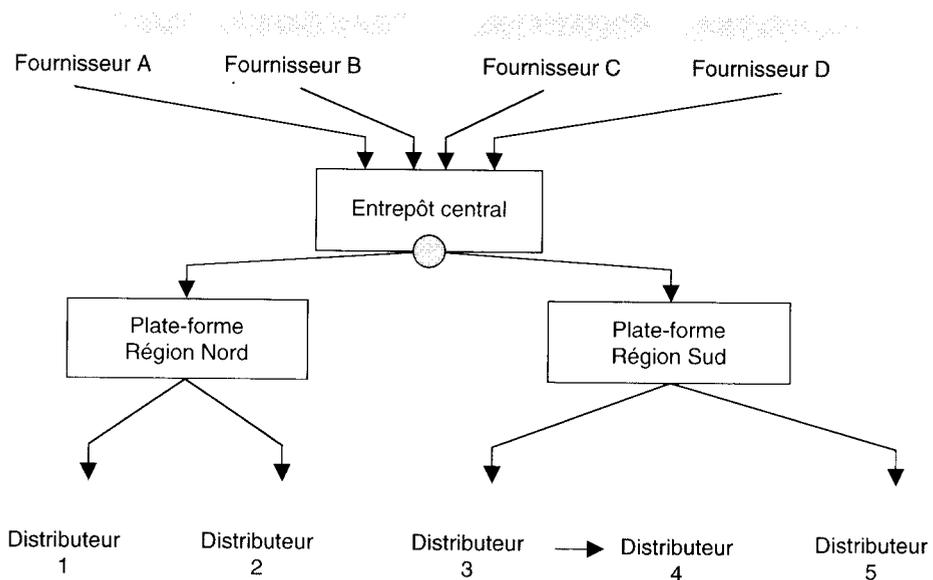


Figure 5.17 : Réseau logistique avec entrepôt central et plates-formes

tique est proche de celui que Ford France a bâti pour alimenter son réseau de concessionnaires en pièces de rechange (cf. § 3).

On pourrait multiplier les représentations car il existe un nombre élevé de combinaisons réalisables à partir des structures de base. Selon le type d'activités, le type de biens, la stratégie de l'entreprise, les schémas pourront fortement varier, sans que l'on puisse dire de façon catégorique qu'un modèle est meilleur qu'un autre. L'analyse est à réaliser au cas par cas ; de plus, il est fréquent, voir inévitable, que l'entreprise soit obligée de changer de modèle au fur et à mesure de son développement.

## 2.2 L'importance des plates-formes dans la logistique moderne

Les réglementations juridiques (loi Raffarin<sup>1</sup>) font qu'il devient très difficile pour les grands distributeurs de construire de nouvelles surfaces de vente. C'est pourquoi la plupart d'entre eux transforment les « réserves » en surface commerciale. Chaque mètre carré doit être source de chiffre d'affaires. Réduire les réserves ou carrément les supprimer implique une logistique particulièrement bien réglée. Le moyen d'avoir des niveaux de service excellents passe notamment par l'utilisation de plates-formes, couplées à des stratégies de GPA et de *cross-docking*.

1. Votée en 1996, la loi Raffarin durcit la loi Royer de 1973 ; elle a pour objectif de freiner l'essor des grandes surfaces par une maîtrise plus stricte de la création de m<sup>2</sup> de vente. Ainsi, les extensions de surface sont soumises à autorisation dès que le magasin dépasse 300 m<sup>2</sup>. De plus, toute implantation d'une surface supérieure à 6 000 m<sup>2</sup> suppose une enquête publique.

La plupart des grands distributeurs français ont retenu un fonctionnement par plates-formes, surtout pour les produits alimentaires, où les dates limites de consommation conduisent les responsables logistiques à comprimer les délais. Elles fonctionnent généralement 24 heures sur 24 et 6 jours sur 7, et alimentent entre 15 et 30 points de vente (supermarchés et hypermarchés). Les avantages de cette organisation sont nombreux :

- on observe une rationalisation et une plus grande rigueur de fonctionnement, conduisant à limiter les pertes de temps, les erreurs et les dégradations ;
- la massification des flux qui découle de ce modèle logistique conduit à économiser de 5 à 20 % sur les coûts d'approvisionnement (camions complets et homogènes) ;
- on constate une optimisation des conditions d'achat ;
- les magasins sont déchargés des opérations de back office, ce qui conduit à un certain recentrage des activités des responsables de magasins.

Nous pourrions ajouter, comme nous l'avons démontré lors du chapitre 3, que cette méthode permet une réduction du stock de sécurité par référence. De plus, certains grands distributeurs dont le cœur de métier est la vente, en confiant la gestion des plates-formes à des spécialistes de la logistique (Hays, Géodis, etc.), d'une part considèrent que l'externalisation sera bénéfique sur le plan stratégique, et d'autre part, sur le plan financier, souhaitent limiter les immobilisations excessives de ressources dans les infrastructures de stockage et de transit.

## REPÈRES : Le cas de la réserve déportée d'Auchan<sup>1</sup>

Auchan a récemment ouvert un hypermarché à Marne-La-Vallée, au cœur du centre commercial Val-d'Europe. Les pouvoirs publics ont autorisé un espace maximum de 20 000 m<sup>2</sup> pour Auchan. Se posait donc la question du choix de la surface de vente : fallait-il réaliser un magasin sur le modèle traditionnel, c'est-à-dire comportant une réserve importante, ou devait-on innover afin de consacrer à la vente le maximum d'espace ? Devant les contraintes réglementaires et les perspectives de croissance très favorables du site, les responsables ont choisi d'expérimenter une nouvelle organisation. Une « réserve déportée » a donc été construite à 8 km du magasin ; son impact sur la logistique est évident. Sa réalisation s'inscrit aussi dans le cadre d'un projet plus vaste, appelé « projet compétitivité », dont les principes directeurs sont la professionnalisation des métiers, l'amélioration de la communication et la rigueur dans l'organisation.

Selon les responsables d'Auchan, les avantages d'une réserve déportée sont nombreux. Construite indépendamment du magasin, elle est plus fonctionnelle que la plupart des réserves classiques. Elle dispose de plusieurs quais de réception, d'aires

1. Illustration construite à partir d'un dossier réalisé par C. Balavoine, A. Colas, D. Lagadec (étudiants du DESS Logistique université de Paris I Panthéon Sorbonne) sur la base d'entretiens avec V. Atalla, Responsable de la réserve déportée de Auchan Val-d'Europe, avril 2001.

d'expédition et de réception, et offre la possibilité de travailler dans d'excellentes conditions. Elle facilite aussi le développement de services tels que la préparation des produits (mise sous antivols, étiquetage, mise sous cintre, etc.). Cependant, sur le plan logistique, l'éloignement du magasin est source d'inconvénients et de coûts supplémentaires. En effet, la réactivité est limitée par la distance et les éventuels soucis de circulation ; le transport et la gestion de la réserve provoquent une hausse des coûts. Malgré tout, par rapport à la situation actuelle, mais aussi sur la base des perspectives futures, l'étude préalable en termes de coûts/bénéfices a montré que cette solution était préférable.

### 3 Description d'une plate-forme et organisation de la chaîne logistique

Nous avons déjà présenté lors du chapitre consacré à la gestion des stocks les principales caractéristiques de la plate-forme de stockage de Ford France située à Estrées-Saint-Denis<sup>1</sup>. Les repères du chapitre 3 étaient consacrés à décrire la gestion des stocks des pièces de rechange. Nous allons maintenant nous attacher à comprendre le schéma logistique, tant interne qu'externe.

#### 3.1 Description et fonctionnement général de la plate-forme

Comme l'indique la figure 5.18, la plate-forme comprend deux grandes zones :

- *le magasin 1* d'une superficie de 22 000 m<sup>2</sup> est consacré au stockage de toutes les références hors tôlerie, classées en fonction du type et du poids ; il abrite aussi :
  - le quai et la zone de chargement ;
  - une zone de stockage protégée pour les produits dangereux et inflammables ;
  - un système de stockage automatisé et assisté par ordinateur pour les petites pièces, appelé le carroussel. Il permet de stocker environ 13 000 références, soit 45 % du total.
- *le magasin 2* d'une surface de 14 000 m<sup>2</sup> est dédié au stockage des références de tôlerie ; les pièces sont classées par type, souvent de la plus encombrante à la plus réduite et les pièces à faible rotation sont au fond du magasin (en gris foncé). Il abrite aussi :
  - un service informatique dédié à l'édition des bons permettant de mettre les pièces dans leur *home location* (casiers, emplacements, lors du déchargement des camions ;
  - le quai et la zone de déchargement.

1. Illustration réalisée à partir d'une visite de la plate-forme et de plusieurs longs entretiens avec le directeur et ses principaux collaborateurs.

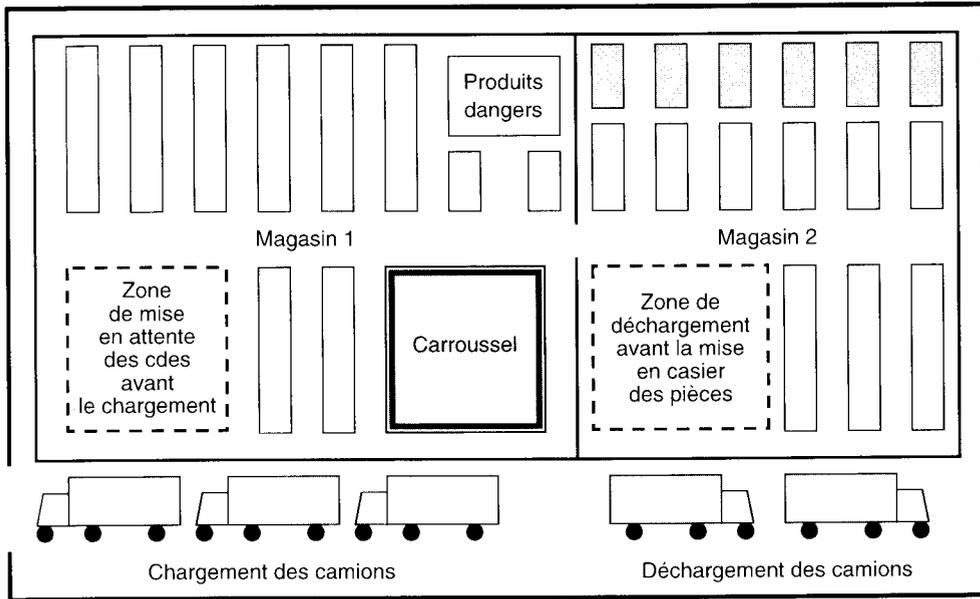


Figure 5.18 : Plate-forme de stockage de Ford Estrées-Saint-Denis

Les services administratifs et de direction jouxtent les magasins et permettent aux personnels d'encadrement d'être très facilement présents pour assurer le suivi des opérations ou en cas de difficultés.

Dans un entrepôt, l'organisation et le fonctionnement des magasins de stockage constitue une activité essentielle. Il ne faut pas négliger le fait que le stockage est *dynamique* : le stockage doit tenir compte du cycle de vie de la pièce. Dans le domaine des pièces de rechange, la demande d'une pièce est faible lorsque le modèle de voiture auquel elle est associée vient d'être commercialisé (car la voiture est neuve) puis la demande augmente (davantage de réparations) puis diminue jusqu'à ce que le modèle disparaisse progressivement.

Ainsi, les magasins doivent être flexibles pour s'adapter à de nouvelles pièces (pour de nouveaux véhicules), mais aussi pour s'adapter à des variations de demande ; de ce fait, les capacités de stockage doivent en permanence être remodelées. Une équipe de cinq personnes est chargée de la « planographie ». Cela consiste à :

- améliorer les conditions de stockage et de sécurité dans les magasins,
- améliorer l'efficacité de la mise en casier et du prélèvement,
- créer et gérer de façon optimale les nouvelles *home locations* (emplacements) pour les pièces nouvelles,
- collaborer avec l'équipe qualité pour mettre en place les 5S dans les magasins (progressivement et de façon pragmatique), afin de travailler dans des conditions de propreté et d'ordre stimulantes.

Pour faciliter la création de nouveaux casiers, les intervertions, les changements, etc. (en tout, 3 800 changements d'emplacements pendant l'année 2000), le responsable de l'équipe privilégie l'utilisation de casiers modulaires, que l'on peut facilement et rapidement déplacer d'une rangée à l'autre, « *au lieu de passer une demi-journée improductive à intervertir deux emplacements ou à agrandir une location qui est devenue trop petite* ».

### 3.2 La logistique interne optimisée par l'utilisation du carroussel

En France et même en Europe, par rapport au nombre total d'entrepôts, il existe assez peu de magasins de stockage automatisé aussi perfectionnés que celui-ci et pouvant gérer autant de références (environ 13 000 et au maximum 15 000). Ce système est aussi appelé ASRS pour Automated Storage and Retrieval System, c'est-à-dire système automatisé de stockage et de prélèvement. Il rend le *picking* des petites pièces plus efficace et assure une qualité de service élevée. Ces dernières années, devant les avantages de tels systèmes, leur nombre s'est fortement accru.

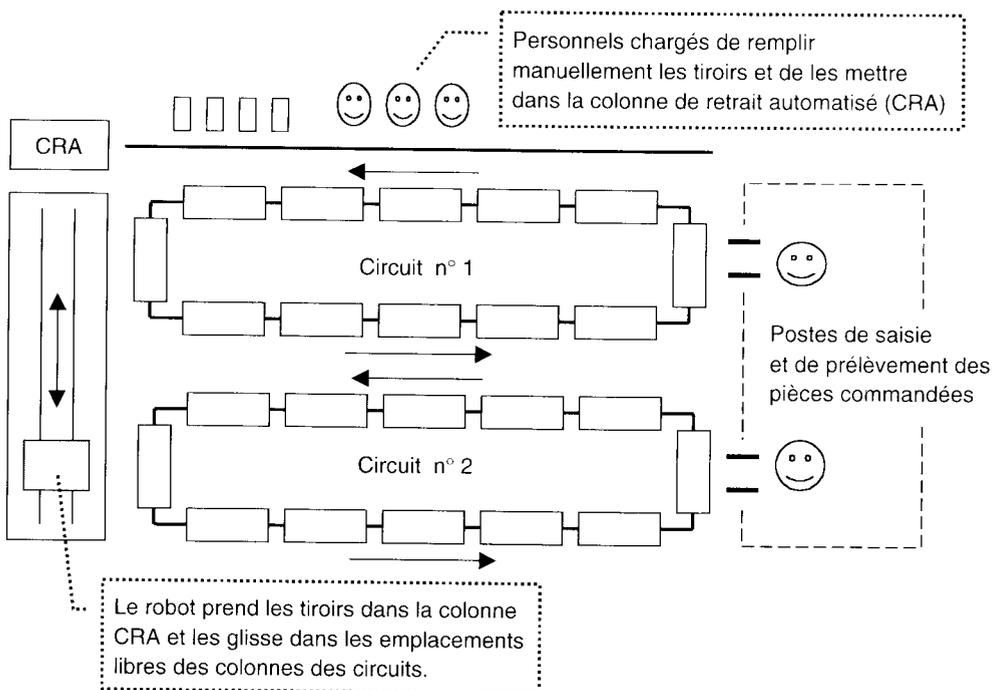


Figure 5.19 : Le fonctionnement du carroussel

Il s'agit de 12 circuits composés de plusieurs colonnes métalliques assez hautes supportant de nombreux tiroirs, dans lesquels les petites pièces sont stockées. Le numéro de la pièce apparaît sur la face avant visible du tiroir. Les tiroirs sont remplis

manuellement par des équipes en fonction des livraisons, puis disposés dans des colonnes où un robot viendra les prendre afin de les glisser dans un emplacement libre d'une colonne choisie parmi celles des douze circuits. Le robot se déplace sur des rails dans deux directions :

- horizontalement, pour aller d'une colonne à l'autre,
- et verticalement, pour aller d'un tiroir à l'autre, de bas en haut.

Pour des raisons de place, nous n'avons représenté que 2 circuits sur la figure 5.19 ; en réalité, il y en a 6 au niveau du sol et 6 autres au-dessus des précédents. Chaque colonne mesure environ 3 mètres de haut. On trouve donc un poste de saisie pour chaque niveau.

Lors d'une commande, sur ordre du logiciel, les circuits se mettent à tourner de telle façon que les tiroirs contenant les pièces demandées se positionnent successivement dans la fenêtre de l'opérateur. Ainsi, une commande, même complexe, peut être constituée dans un délai très bref. Il est reconnu que les systèmes automatisés de ce type permettent d'importants gains de productivité.

Cependant, outre un coût d'acquisition élevé, ces systèmes ASRS possèdent l'inconvénient d'exiger une maintenance rigoureuse. Le manque de flexibilité peut parfois leur être reproché ; ce n'est pas le cas ici car on sait qu'il y aura toujours des petites pièces à stocker dans l'industrie automobile.

### 3.3 Fonctionnement et organisation : les éléments de base

En volume, les trois quarts des approvisionnements proviennent des deux *dépôts sources* (Cologne et Daventry), le reste des fournisseurs appelés *fournisseurs locaux* (cf. figure 5.20). Il s'agit d'entreprises européennes qui produisent généralement des pièces volumineuses ou à forte rotation (batteries, pare-brise, pare-chocs, filtres, etc.). Par exemple, Saint-Gobain est un des grands fournisseurs de Ford France.

Les commandes vers les dépôts sources sont quotidiennes, alors qu'elles sont mensuelles vers les fournisseurs locaux. Avec certains fournisseurs locaux, le CNLPR-ESD utilise la technique de la *réquisition*, sorte de compromis entre l'appel synchrone et le *kanban* (encore appelé recombplètement de consommation réelle)<sup>1</sup>. Nous avons défini ces notions dans la deuxième section de ce chapitre.

Le fournisseur reçoit périodiquement les besoins prévisionnels (appelés *forecasts*) du centre logistique ; cette *collaboration* favorise le fabricant qui dispose ainsi d'une plus grande visibilité. Les besoins prévisionnels les plus proches dans le temps donnent ensuite lieu à une commande ferme. À la place de livrer cette commande en une seule fois, le fournisseur accepte d'étaler les livraisons en fonction des besoins réels du centre logistique. Cette fois, la collaboration avantage le centre logistique qui ne supporte sur ces pièces qu'un coût de stockage minimum, puisqu'elles ne sont livrées que lorsqu'un besoin réel est exprimé.

1. On pourra se référer fort utilement à l'ouvrage de H. Grua, J.M. Segonzac, 1999.

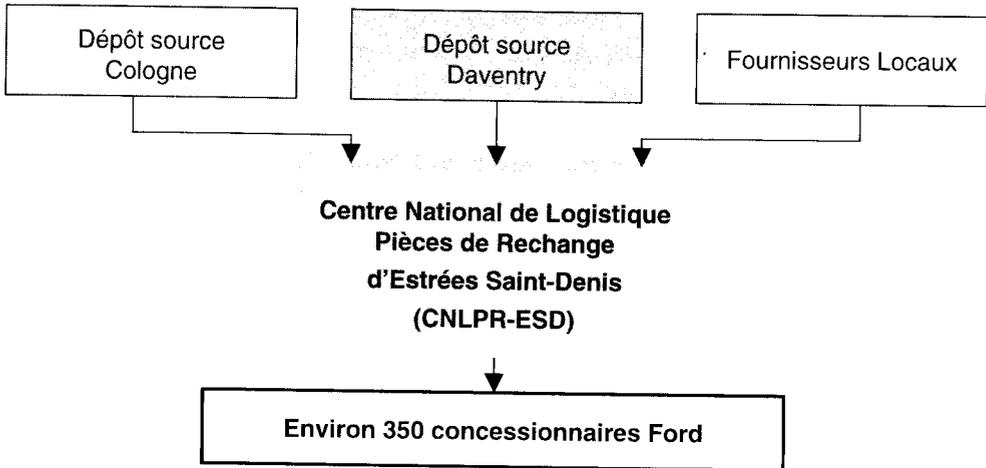


Figure 5.20 : Organisation générale du réseau Ford pièces de rechange

Au sein de la plate-forme d'Estrées, il existe trois grandes catégories de flux :

- les *mises en casier* quotidiennes des pièces entrantes ;
- les préparations des *commandes hebdomadaires de réapprovisionnement* des concessionnaires Ford<sup>1</sup> : au maximum, elles seront livrées en J + 4 (dont 1 jour pour le délai de transport) ;
- les préparations des *commandes urgentes* : il existe 4 cycles d'urgence, selon l'heure d'arrivée de la commande ; le dernier cycle se situe avant 18 heures ; la livraison s'effectue le lendemain avant 10 heures.

Les commandes de réapprovisionnement et les commandes urgentes sont gérées séparément : les premières partent directement d'Estrées vers les concessionnaires, alors que les secondes partent d'Estrées pour la plate-forme du transporteur prestataire qui va dispatcher et organiser la livraison selon ses propres critères.

Ford Europe étudie à l'heure actuelle les conditions d'application d'une nouvelle stratégie, la New European Distribution Strategy. Il s'agit d'aller au maximum vers une gestion des stocks en flux tirés et d'accroître le degré de centralisation du réseau logistique. Le dirigeant du centre logistique d'Estrées, Monsieur Henri Halais, nous a précisé que dans le cadre de la mise en place d'une telle stratégie, l'objectif consistait à accroître le taux de rotation en vue de réduire les quantités stockées grâce à des livraisons plus fréquentes, à niveau de service inchangé. Cela suppose une *double adaptation*, tant en amont chez les dépôts sources et les fournisseurs, qu'en aval chez les concessionnaires. Selon Henri Halais, « *une pratique efficace du flux tiré suppose la collaboration de tous les acteurs de la supply chain* », et particulièrement du

1. Chaque jour, en moyenne 70 concessionnaires sont servis ; ainsi, dans la semaine, les 350 concessionnaires du réseau Ford peuvent être livrés.

maillon le plus faible en terme d'organisation, le concessionnaire. En effet, à l'instar de ce que précisait la théorie des contraintes, le maillon le plus faible détermine l'efficacité globale de la chaîne logistique, c'est pourquoi c'est sur lui que les efforts les plus soutenus doivent porter.

Section

4

## LA LOGISTIQUE À L'HEURE D'INTERNET

Il nous a été difficile de ne pas évoquer l'impact d'Internet dans les sections précédentes tant cet impact est grand ; mais nous souhaitions d'une part proposer une présentation homogène de son influence et d'autre part, éviter certaines confusions, comme celle qui consiste à croire que sans Internet, il n'y a point de salut pour la logistique.

Dans ce titre, précisons qu'Internet est pris dans son sens le plus large ; les dérivés d'Internet, c'est-à-dire notamment les réseaux extranet et les places de marché, représentent de nouveaux outils au service de la communication, des échanges et de la collaboration interfirmes. À ce titre, ils renouvellent et élargissent la problématique que l'EDI avait fait émerger à ses débuts, et que nous avons rappelée dans la section précédente. En améliorant la circulation des flux d'informations, Internet et ses dérivés facilitent la circulation des flux physiques [1 et 2]. Cependant, imaginer qu'Internet résout tous les problèmes rencontrés dans la gestion de la chaîne logistique est un piège dans lequel les sites de e-commerce ne souhaitent plus tomber. En dehors de tout effet de mode, la logistique « sur le terrain » reste inévitable et doit être maîtrisée [3].

### 1 Vers une « e-supply chain » collaborative et une entreprise étendue

Il y a quelques années, le cœur de métier de la logistique consistait à acheminer une commande d'un point A à un point B. Aujourd'hui, sa mission s'est élargie et enrichie : la chaîne logistique globale couvre l'ensemble des actions qui conduisent à la livraison du bon produit, au bon moment, au bon endroit, dans de justes quantités et au moindre coût. Comme nous le précisons déjà au début de ce chapitre, seule une *approche transversale et intégrée* permet de résoudre cette difficile équation ; l'optimisation globale prend le pas sur la recherche locale de l'efficacité fonction par fonction. Les entreprises ont longtemps pensé qu'il suffisait que cette transversalité soit interne. Il semble aujourd'hui démontré que les meilleurs résultats s'obtiennent en considérant une transversalité qui dépasse les frontières de l'entreprise : pour accomplir sa mission, l'entreprise doit accepter de communiquer et de collaborer

avec ses partenaires afin de transformer la *supply chain* traditionnelle en une *supply chain* collaborative.

C'est pourquoi la logistique doit accorder autant d'importance aux *flux d'informations* qu'aux flux physiques dont elle a eu initialement la charge. Les progrès combinés dans l'informatique et les télécommunications, avec notamment la présence d'Internet et de ses dérivés (intranet, extranet, places de marché) facilite la communication et la coopération entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, la *e-supply chain* désigne l'ensemble des actions matérielles et immatérielles adossées à Internet, mises en œuvre pour produire et livrer une marchandise dans les meilleurs délais et au meilleur coût. Selon de très nombreux experts et professionnels, la valeur ajoutée d'un prestataire logistique proviendra de plus en plus de son système d'information (*cf.* section I sur la notion de 4PLs). Le terme Internet est aujourd'hui un peu trop vaste (et fourre-tout) pour que l'on puisse s'en contenter. Quels sont donc les outils qui se cachent sous ce concept générique ?

### 1.1 Les extranets et réseaux numériques à valeur ajoutée

En mars 1998, sur la base de ce qui existait déjà aux États-Unis<sup>1</sup>, l'organisation GALIA<sup>2</sup> a lancé le projet ENX RAPIDES (European Network eXchange – Réseau automobile pilote d'échanges sécurisés) ; à terme, l'objectif est de créer un *extranet sécurisé* à haut débit pour l'industrie automobile européenne. Les directions informatiques de Renault et de PSA sont à l'origine du projet RAPIDES. Il s'agit de mettre à la disposition des entreprises une infrastructure de communication basée sur Internet, qui permette rapidement et pour un coût raisonnable :

- de *faciliter la communication* entre les constructeurs et les très nombreux fournisseurs : un extranet évite les connexions point à point car la seule connexion au réseau permet à chaque nouvel entrant de communiquer facilement avec toutes les firmes du réseau ;
- de *réduire les durées de développement* des projets automobiles, pour faire face à la concurrence internationale, et notamment japonaise ;
- d'*améliorer l'intégration des processus* sur l'ensemble de la chaîne logistique : achats, transports, stockage, facturation, service après vente, etc.

À l'issue d'une phase d'études, un réseau pilote a progressivement démarré (en mars 1999), entre neuf partenaires français, comme l'indique la figure 5.21.

---

1. Le réseau américain s'appelle l'ANX pour Automotive Network eXchange ; il s'agit d'un extranet géant donnant la possibilité à toutes les firmes du secteur automobile qui le souhaitent d'entrer en contact les unes avec les autres, de façon simple et peu coûteuse.

2. GALIA signifie Groupement pour l'amélioration des liaisons dans l'industrie automobile. Il s'agit d'une organisation, composée de plus de 400 entreprises du secteur automobile ; elle s'intéresse notamment à améliorer les relations entre constructeurs et fournisseurs.

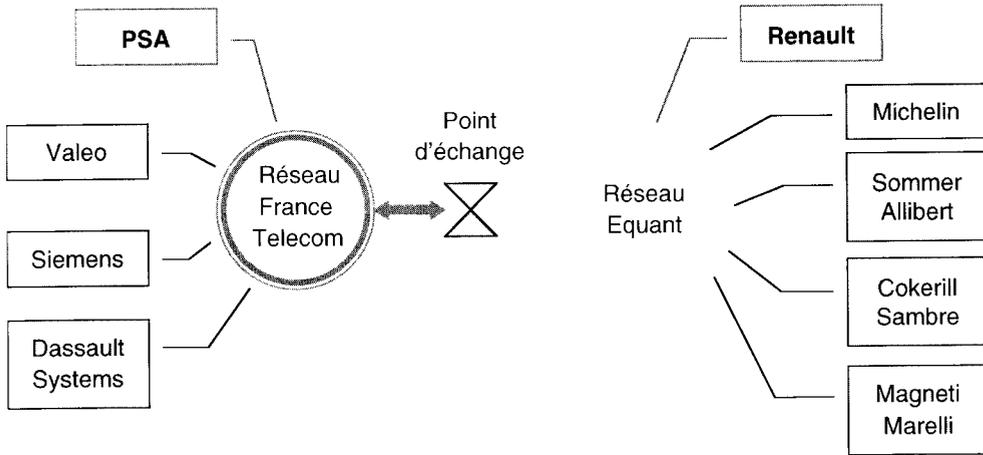


Figure 5.21 : Le réseau RAPIDES

En septembre 1999, le réseau pilote RAPIDES a été relié au réseau ENX allemand par Deutsche Telekom, créant ainsi un véritable réseau pilote européen. La phase expérimentale ayant donné de bons résultats sur les plans de la sécurisation, du débit et des applications pilotes, les acteurs sont passés à l'étape suivante. Les plus grands constructeurs automobiles européens tels que Audi, BMW, DaimlerChrysler, PSA, Renault, Fiat, Volvo, Ford... ainsi que quelques fournisseurs et organisations nationales comme GALIA ou VDA (association allemande, homologue de GALIA), ont fondé la société commerciale à but non lucratif ENX, structure légale du réseau européen. Aujourd'hui, l'ENX n'est plus en phase d'essais mais en phase de production : les entreprises intéressées peuvent s'y connecter en souscrivant un contrat auprès de l'un des deux opérateurs agréés (France Telecom ou Equant), après s'être enregistrées auprès de GALIA. Aujourd'hui, une centaine de firmes sont raccordées à l'ENX. Ce dernier est maintenant relié à son homologue américain.

Bien que l'ENX et l'ANX ne soient pas des réseaux exclusivement dédiés à la logistique, ils l'abordent directement et indirectement. Tout d'abord, ils permettent et facilitent l'usage des formulaires EDI, dont on connaît le rôle dans l'amélioration du fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement. Ensuite, parce que l'ENX a la volonté d'encourager et de faciliter la communication entre les constructeurs et les fournisseurs, on peut espérer un certain nombre de retombées positives pour la logistique.

On assiste aussi à la création de réseaux numériques à valeur ajoutée, appelés parfois DVN (Digital Value Network) dans de nombreux autres secteurs. Améliorer les échanges d'informations entre les différents partenaires d'une même chaîne d'approvisionnement devient donc aussi important que d'optimiser les flux physiques. L'intérêt de tels réseaux se situe notamment dans leur accessibilité pour les PME. Ces dernières trouvent dans l'Internet et dans ses dérivés de précieux moyens de s'insérer dans des réseaux de communication, dont ils étaient plutôt exclus par le passé.

## **REPÈRES : L'extranet de Tesco**

L'exemple de Tesco, 1<sup>re</sup> chaîne britannique de supermarchés, est intéressant. Tesco utilise l'EDI depuis 1990 et aujourd'hui, la quasi totalité des marchandises vendues est approvisionnée à l'aide de l'EDI. Cependant, face à ses inconvénients (coût élevé pour les fournisseurs modestes, messages normalisés trop rigides, liaisons uniquement bilatérales), Tesco s'est tourné vers Internet et s'est fait construire en 1999 un extranet<sup>1</sup>, dont le nom est aujourd'hui bien connu : Tesco Trading Information Exchange (Tesco TIE). Un extranet est un environnement de communication qui permet des échanges d'informations sécurisés à partir d'un réseau privé utilisant les protocoles d'Internet. Non seulement ce réseau sécurisé permet aux 850 fournisseurs d'obtenir des informations sur le distributeur, mais, plus important, il met à leur disposition quotidiennement les ventes de leurs produits. Ainsi, les fournisseurs peuvent plus promptement et facilement réagir aux fluctuations de la demande ; Tesco optimise la gestion de ses stocks et a réduit de 30 % les ruptures de stock.

---

1. Le concepteur est General Electric Global eXchange Services (GE GXs), une filiale de la très puissante firme General Electric.

### **1.2 Le Web/EDI : système EFI – Échanges de formulaires informatisés**

Nous avons déjà évoqué le système de communication EDI. Outre le fait qu'aucun document papier ne circule entre les partenaires<sup>1</sup>, ses principaux avantages sont d'une part qu'il permet l'élimination des opérations sans valeur ajoutée et génératrices d'erreurs (vérifications, saisies multiples, relectures, expéditions postales) et d'autre part qu'il améliore la synchronisation de la chaîne logistique grâce aux messages d'information (avis d'expédition, avis de livraison, etc.).

Cependant, tous les spécialistes de l'EDI reconnaissent que ce système présente des inconvénients pour les petites et moyennes entreprises :

- le coût d'une station EDI et les frais en personnels compétents dédiés à son fonctionnement peuvent sembler en valeur absolue trop importante pour certaines PME et disproportionnés par rapport aux gains attendus ;
- les coûts fixes paraissent d'autant plus élevés que le système est sous-utilisé (ce qui est fort possible lorsque l'entreprise est de petite taille) ;
- l'utilisation d'un langage standard est perçue comme complexe (norme UN/EDIFACT) et peut rebuter le chef d'entreprise ;

---

1. En théorie... car beaucoup d'entreprises (surtout dans les PME) continuent cependant à imprimer certains documents, craignant par exemple les pannes informatiques, ou tout simplement par habitude.

– l’abandon des documents papiers n’est pas toujours bien perçu (problèmes juridiques de la preuve<sup>1</sup>).

C’est pourquoi certains éditeurs ont créé un système plus souple et moins coûteux : le Web/EDI ou système EFI – Échanges de formulaires informatisés<sup>2</sup>. Le fournisseur, à partir d’un ordinateur, va pouvoir échanger des données avec une entreprise qui dispose d’une vraie station EDI. Grâce à un nouveau langage d’Internet, le XML<sup>3</sup>, les PME vont ainsi pouvoir s’intégrer dans les réseaux commerciaux des grandes entreprises, en minimisant les investissements en matériels, en logiciels et en personnels. En effet, il suffit de disposer d’un ordinateur connecté à Internet par un modem (ou plus si l’on souhaite des transferts de données plus rapides) ; la mise en place et l’utilisation n’exigent pas plus de compétences que l’utilisation d’Internet.

Comme l’indique la figure 5.22, la conversion des données HTML, via XML, en instructions EDIFACT (lorsque le fournisseur envoie son message) ou la conversion des messages EDIFACT en langage XML, permettant d’obtenir un formulaire HTML, (lorsque l’initiative vient de la grande entreprise), est assurée par un prestataire, par

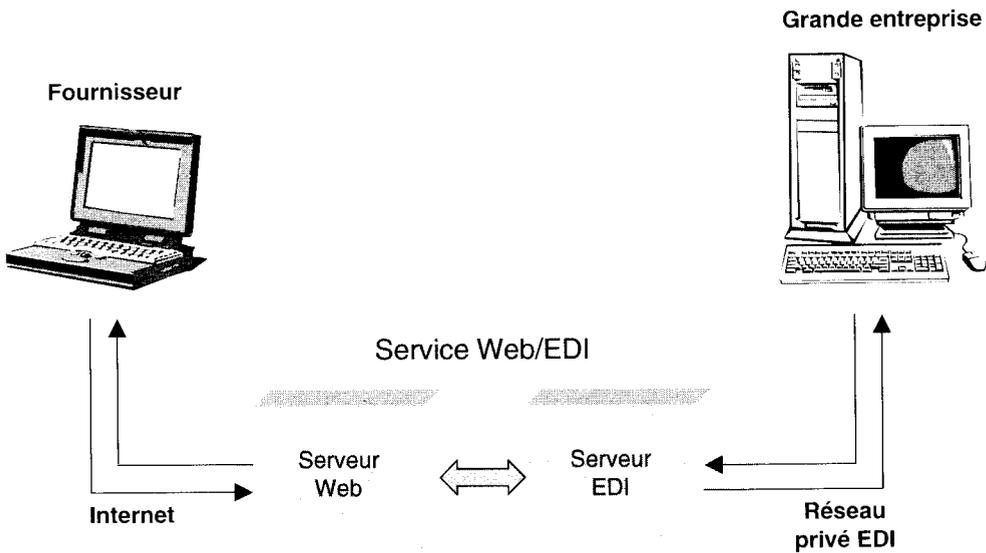


Figure 5.22 : Le fonctionnement simplifié du Web/EDI

1. Y. Pimor (Logistique, Paris, Dunod, 2001) rappelle toutes les précautions qui devront être prises, lors de l’utilisation de l’EDI, et particulièrement suite à la dématérialisation des documents échangés (pp. 368 et 369).
2. On pourra consulter le site [www.finances.gouv.fr/DGI/tva/telepro/efipresentation.htm](http://www.finances.gouv.fr/DGI/tva/telepro/efipresentation.htm) pour obtenir des informations pratiques sur les modalités d’utilisation de l’EFI.
3. XML signifie eXtended Markup Language. Le langage utilisé communément sur Internet pour l’affichage de pages web est le HTML (HyperText Markup Language).

exemple Transpac de France Telecom, et passe inaperçue aux yeux du fournisseur. Pour un abonnement assez minime (environ 1 500 F par mois), le fournisseur dispose ainsi d'un accès sécurisé aux réseaux électroniques des grandes entreprises.

Le système EFI permet donc l'intégration de toute la chaîne logistique, du fournisseur modeste à la grande entreprise. Avec le formidable essor d'Internet, le Web/EDI est amené à connaître ces prochaines années un fort développement.

## 2 Les places de marché et la logistique

### 2.1 Définitions et objectifs

Rationaliser la chaîne logistique, redéfinir les relations entre les entreprises et leurs fournisseurs, automatiser les approvisionnements, optimiser les stocks... sont les principaux objectifs des « carrefours d'affaires » (*cf.* tableau 5.1). Ces derniers sont donc immergés dans des préoccupations logistiques. Selon les spécialistes, si les places de marché s'imposent dans le paysage commercial, ce ne sera pas à cause de la fonction achat, mais grâce à la fonction de plate-forme commune de supervision de la chaîne d'approvisionnement.

Alors que l'EDI et l'EFI facilitent et accélèrent les échanges d'informations, les extranets et les places de marchés (à l'instar du TIE de Tesco), en favorisant une *coopération* avec les fournisseurs, transforment la nature des relations, favorisent les prévisions, simplifient la planification et obligent les fournisseurs à intégrer les

Tableau 5.1 : Les grandes places de marchés

Nom de la place de marché	Secteur	Principaux acteurs	Fournisseurs du système
Covisint	Automobile	Ford, GM, DaimlerChrysler (All.), Renault	Oracle Commerce One
World Wide Retail Exchange (WWRE)	Distribution	Auchan, Tesco (USA), Casino, Kingfisher (R-U), Marks & Spencer, Galeries Lafayette	n.c.
GlobalNetXchange (GNX)	Distribution	Carrefour, Sears (USA), Sainsbury, Metro (All.), la Redoute, le Printemps, Target (USA), Coles Meyer (Australie)	Oracle
ChemConnect	Produits chimiques et plastiques	BASF (All.), BP Amoco (USA), Sumitomo, Enichem,	n.c.
CPGmarket.com	Distribution alimentaire	Nestlé (Suisse), Danone, Henkel (All.) Coca-Cola (à partir de mars 2001)	ASP

contraintes commerciales dans leur raisonnement. Dans la mesure où l'extranet relie l'entreprise à ses fournisseurs ou à ses clients, on convient alors de parler *d'entreprise étendue*.

La vente à distance aux consommateurs (B-to-C) ne représente que la partie émergée de l'utilisation d'Internet par les distributeurs ; on attend du commerce B-to-B des résultats bien supérieurs.

## **REPÈRES :** Covisint : la place de marché dans le secteur de l'automobile

Après la déclaration d'intention du 25 février 2000, Covisint a annoncé son passage officiel du statut d'organisation en projet à celui de société anonyme le 11 décembre 2000, avec pour membres : DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Nissan, Renault, Commerce One et Oracle<sup>1</sup>.

Le 22 mai 2001, PSA Peugeot Citroën annonce son adhésion à Covisint et souhaite contribuer au développement de la place de marché en Europe. PSA indique par ailleurs son intention de se diriger vers le concept « d'entreprise étendue » en utilisant les fonctionnalités offertes par Covisint, et notamment : les achats en ligne, la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la coconception de véhicules avec ses fournisseurs.

1. Nous suggérons au lecteur de se connecter au site Covisint.com. Particulièrement bien construit, il permet de mieux comprendre le fonctionnement de cette place de marché célèbre, autorisée par la Federal Trade Commission dès le 11 septembre 2000.

L'objectif de la coentreprise est de créer une *chaîne d'approvisionnement intégrée* pour l'industrie automobile du monde entier. Pour réaliser cet objectif, Covisint fournira à ses clients trois catégories de fonctionnalités :

- approvisionnements,
- gestion de la chaîne d'approvisionnement,
- développement de produits.

Tout en proposant pour les échanges de données et les transactions des niveaux de sécurité et de confidentialité particulièrement élevés, Covisint espère favoriser l'intégration de la *supply chain* grâce à une plus grande connectivité et à davantage de collaboration entre les partenaires.

Dans le module « gestion de la chaîne d'approvisionnement » de Covisint, Supply-Connect est le centre de communication de la *supply chain*. Grâce à ce centre, les partenaires peuvent partager des informations essentielles telles que les calendriers de production et les avis d'expédition. SupplyConnect permet à tous les maillons d'une chaîne d'approvisionnement d'être reliés électroniquement, sans passer par des

communications multiples de point à point. Il est présenté par Covisint comme la première étape vers la voiture BTO (Build To Order).

SupplyConnect est un logiciel en langage XML qui peut recevoir et transmettre des informations sous des formats et des protocoles définis par l'entreprise, tels que EDI, XML, e-mail. Il autorise l'intégration d'applications spécifiques aux clients et aux fournisseurs telles que MRP et ERP. Il permet notamment la transmission :

- de calendriers de planification (DELFOR),
- de calendriers d'expédition (DELJIT),
- d'avis d'expédition (DESADV).

## 2.2 Avantages des places de marché

À la question traditionnelle des avantages que les fournisseurs et les distributeurs peuvent tirer de la place de marché, Colin Dyer, PDG de WorldWide Retail Exchange (WWRE) répond : « *Vitesse, simplification, rationalisation : le but est d'accélérer tous les processus d'échanges administratifs et commerciaux.* » Face aux craintes d'une concurrence, exacerbée à cause des enchères, il ajoute que la relation entre le distributeur et le fournisseur « *ne se définit pas seulement par le prix, mais aussi par la capacité à livrer dans les temps des produits de qualité et d'en développer de nouveaux* ». Afin d'avoir une vision synthétique, tant pour les fournisseurs que pour les clients, nous présentons les principaux avantages des places de marché dans le tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Les avantages des places de marché

<b>Avantages partagés</b>	
Améliorer la communication entre partenaires commerciaux (de toutes tailles)	
Dépasser le cadre classique de l'achat-vente pour faciliter la coordination de la chaîne logistique, par exemple grâce à la mise en œuvre de projet de GPA ou CPFR	
Assurer la transparence des conditions d'échanges	
Diminuer la paperasserie et certaines lenteurs administratives	
<b>Avantages pour les acheteurs</b>	<b>Avantages pour les fournisseurs</b>
Disposer d'un plus grand nombre de fournisseurs (éviter les risques du monosourcing)	Disposer d'un plus grand nombre de clients (profiter de possibles économies d'échelle)
Réduire les stocks et les délais d'approvisionnement grâce à une gestion plus efficace de la chaîne logistique	Trouver de nouveaux clients, par exemple sur des marchés géographiquement éloignés
Améliorer l'efficacité des services achats qui peuvent comparer plus facilement et rapidement les diverses réponses aux appels d'offre	

Selon T. Husseini, directeur de la gestion transversale chez Casino, « *les places de marché permettent d'avoir une meilleure visibilité de la chaîne pour l'ensemble des acteurs concernés par les flux physiques ; et cette visibilité s'avère un des facteurs majeurs de réduction des taux d'erreurs* ».

## REPÈRES : L'exemple de la stratégie B-to-B du groupe PSA Peugeot Citroën<sup>1</sup>

La stratégie du groupe PSA Peugeot Citroën dans le domaine du *business to business* vise à « renforcer ses relations avec les fournisseurs et d'en accroître l'efficacité, tant dans le domaine du partage de la conception-véhicule que dans *celui des approvisionnements et de la logistique* ». Cette stratégie s'appuie sur deux axes :

- la participation active à la place de marché Covisint,
- la création d'un *portail d'accès* unique destiné aux fournisseurs du groupe.

Le 21 mai 2001, souhaitant être partie prenante au développement de la célèbre *market place*, le groupe PSA a pris une participation au capital de Covisint et disposera d'un représentant à l'Advisory Board. L'objectif du groupe est d'arriver progressivement à *donner corps au concept d'entreprise étendue*, grâce à la mise en œuvre de trois projets d'importance majeure :

- *les achats en ligne* ou *e-procurement* prendront la forme d'appels d'offre, d'enchères et d'achats sur catalogue ;
- la collaboration avec les fournisseurs dans le *domaine de la conception-véhicule* : le *collaborative design* permettrait aux fournisseurs d'avoir accès à la maquette numérique (« *véritable plateau virtuel de conception* », c'est la traduction informatique d'un projet automobile et des pièces nécessaires à son élaboration) ;
- la collaboration avec les fournisseurs dans le *domaine de la chaîne d'approvisionnement* : il s'agit d'accroître la visibilité des fournisseurs sur les besoins du constructeur par un partage des informations entre les membres de la chaîne logistique. Il est prévu que même les fournisseurs subalternes (de rang 2 ou 3 et plus) puissent participer à cette intégration électronique. PSA souhaite ainsi améliorer l'adéquation entre ses capacités de production et celles de ses fournisseurs.

Par ailleurs, PSA met en place sur Internet son portail d'accès réservé aux fournisseurs. Ce portail comporte deux zones distinctes : l'une est un espace public comportant des informations générales sur le groupe et sur la direction des achats, l'autre est sécurisée et accessible par mot de passe. Il s'agit donc d'un extranet. Par ce canal, on peut imaginer que les concessionnaires développeront avec PSA des échanges fructueux : améliorations des prévisions de vente, détection plus rapide des retournements de tendance, informations directes des usines en vue de faciliter la vente des véhicules en stock, suivi des commandes clients, *tracking* des véhicules, etc.

1. *Source* : Selon H. Guyot, directeur des achats et A. Gentes Kruch, directeur de l'entité B-to-B.

### 3 Logistique et e-commerce : le cas des « cybermarchés » alimentaires

#### 3.1 La logistique est un facteur clé de succès du e-commerce

L'usage croissant d'Internet, et plus globalement de l'informatique et des télécommunications, a provoqué chez de nombreux agents économiques un sentiment de dématérialisation des échanges, et a mis à la mode leur caractère virtuel. Beaucoup semblent avoir négligé un détail : une transaction commerciale, qu'elle soit « en ligne » ou non, ne s'achève pas avec la prise de commande et le règlement, mais avec la livraison de l'exacte quantité de produits à l'endroit où l'acheteur l'a souhaitée. Les déboires d'un certain nombre de sites marchands, notamment lors des dernières fêtes de Noël, montrent qu'il n'est pas possible de sous-estimer le *rôle de la logistique* dans la réussite des projets de cybercommerce. Grâce à leur expérience et les réseaux déjà en place, les spécialistes de la grande distribution ont parfaitement intégré l'importance de la chaîne logistique lorsqu'ils ont développé leur site marchand. En revanche, les nouveaux venus se sont souvent laissés aveugler par le marketing, la publicité, la recherche de financement... et ont négligé la chaîne d'approvisionnement.

La concurrence sur le marché du e-commerce alimentaire est vive car ce sont en réalité les cinq grands groupes de la distribution européenne qui s'affrontent à travers les sociétés présentes sur Internet (*cf.* tableau 5.3).

Les *facteurs clés de succès* peuvent se résumer en quelques éléments, presque toujours interdépendants ; ils supposent tous de consacrer à la logistique autant

Tableau 5.3 : Les cybermarchands français dans le domaine de la grande distribution

Nom du site	Distributeur	Produits vendus	Zones de livraison	Coût des livraisons
Cmescourses.fr	Casino	6 000 références Produits frais, surgelés, épicerie, boissons, vins	75, 78, 91, 92, 94 Régions lyonnaise, de Biarritz et de Pau	de 30 à 60 F
Ooshop.com	Carrefour	Idem	75, 92 Région lyonnaise	79 F
Telemarket.fr	Galeries Lafayette	Idem	Paris et sa région	49 F
Houra.fr	Cora	Tous produits, plus de 40 000 références	Toute la France	47 F
Auchandirect.fr	Auchan	4 500 références Produits frais, épicerie, boissons, vins	Banlieue sud de Paris	À partir de 60 F

d'intérêt qu'aux autres aspects de la relation client (souvent appelés *front office* : marketing, publicité, prix...) :

- respecter les engagements, notamment en ce qui concerne les *délais de livraison*, car les clients sont assez difficiles à fidéliser et on sait que les promesses non tenues favorisent le nomadisme ;
- assurer une *mise à jour en temps réel* du catalogue sur la base de l'évolution des stocks, afin d'éviter que les clients ne soient déçus par d'éventuelles ruptures en amont, dont la responsabilité n'incombe pas au cybermarchand (certains éditeurs ne donnent pas d'indication précise sur la date de réimpression lorsqu'un ouvrage est épuisé) ;
- prévoir des procédures permettant au client de *modifier sa commande*, afin de limiter les retours ; qu'il s'agisse d'un changement volontaire ou provoqué par le vendeur ;
- porter une attention particulière à la *gestion des stocks* : contrairement à l'industrie où le zéro stock est un mot d'ordre judicieux, l'expérience tendrait à montrer que e-commerce fonctionne mieux avec des stocks substantiels ;
- *tisser des partenariats* avec les fournisseurs et les transporteurs : pour améliorer le fonctionnement de tous les acteurs de la chaîne logistique, la circulation des informations dans les deux sens doit être la règle.

### 3.2 Le cas de l'entreprise Ooshop.com<sup>1</sup>

Ooshop.com est une entreprise de vente sur Internet avec livraison à domicile. Créée fin 1998 et commençant à fonctionner en mai 1999, c'est une filiale du groupe Carrefour. Elle est constituée de 4 services : l'informatique (avec un prestataire hébergé, la société FRA), le marketing, la gestion, et la logistique. Le transport a été externalisé à un prestataire, la société Stars Services. Le site vend des produits alimentaires, d'hygiène, de beauté, et d'entretien de la maison, soit environ 6 000 références. Pour que les pages web soient téléchargées rapidement, l'assortiment des produits est peu profond. Il est constitué à 80 % par des marques nationales, à 15 % par des marques Carrefour (Carrefour, Carrefour Bio, Reflets de France, Escapades Gourmandes) et à 5 % par des premiers prix. Tous les produits possèdent une fiche produit, particulièrement complète, que l'on peut consulter en ligne.

Il est maintenant admis que la logistique est le second levier de réussite du e-commerce (avec le marketing) ; c'est pourquoi les responsables d'Ooshop lui ont accordé une attention particulière. Comme le montre la figure 5.23, la *chaîne logistique* d'Ooshop s'appuie simultanément sur plusieurs maillons :

- l'approvisionnement primaire de la société Ooshop est effectué à partir des plateformes de stockage du groupe Carrefour. Ainsi, tous les produits vendus en ligne

1. Cas réalisé à partir d'un entretien avec J.-B. François, directeur marketing de Ooshop.com, et d'une présentation de la société (mars 2001).

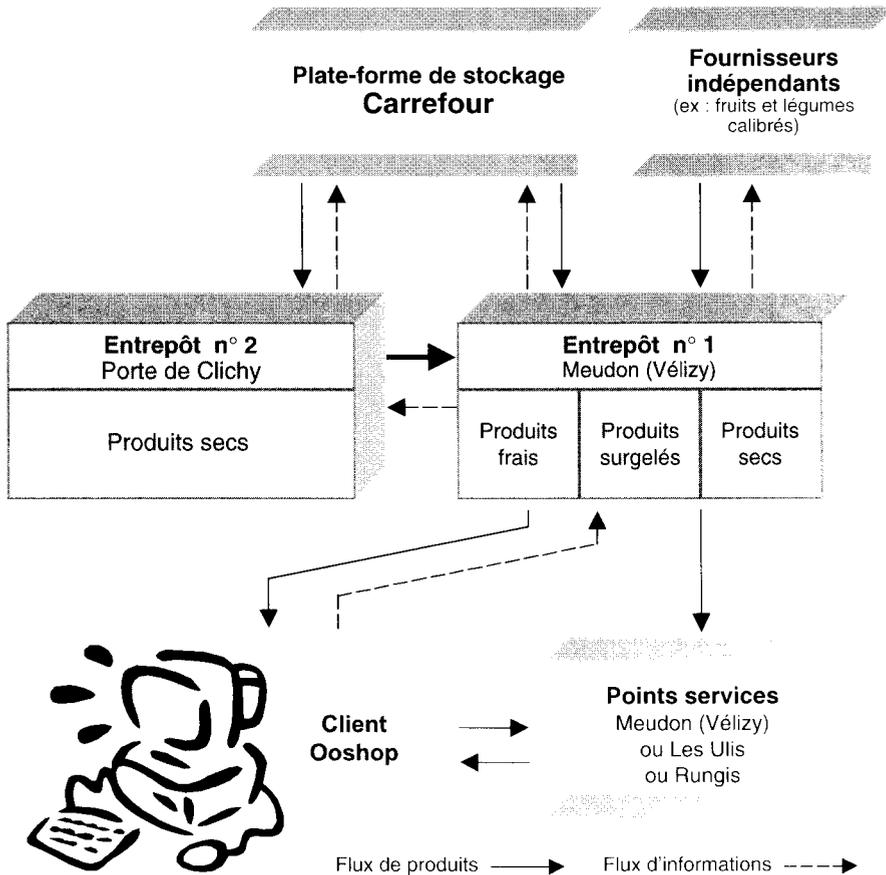


Figure 5.23 : Exemple d'une commande type d'un habitant de Sceaux (Hauts-de-Seine, 92)

bénéficient des mêmes conditions d'achat préférentielles accordées au groupe Carrefour ;

- une fois préparées, les commandes des clients partent de l'un des deux grands entrepôts, exclusivement dédiés à l'activité d'Ooshop, situés à Meudon et porte de Clichy, en direction du domicile du client ou d'un point service ;
- pour certains produits frais, tels que les fruits et légumes, quelques fournisseurs indépendants livrent directement les produits aux entrepôts dédiés ; les commandes ne transitent donc pas par les plates-formes Carrefour ;
- trois points services gérés par Ooshop (situés à Meudon, Les Ulis et Rungis) permettent aux clients de venir chercher leur commande à une date et un horaire convenus, sans frais supplémentaires. À la création de l'entreprise, ils constituaient l'unique lien avec les clients, aujourd'hui ils ne représentent qu'environ 10 % de l'activité d'Ooshop ;

- les livraisons sont assurées par un prestataire spécialisé, Stars Services, qui met à la disposition d'Ooshop une flotte de 80 camionnettes bicompartimentées (4° pour les produits frais et – 20° pour les surgelés), et gérée à l'aide d'un logiciel permettant d'optimiser les tournées.

Afin de bien comprendre le fonctionnement de la logistique de Ooshop.com, nous suivrons le parcours d'une commande type, par exemple d'un habitant de la ville de Sceaux (Hauts-de-Seine, 92). Une fois que la commande est validée sur le site web d'Ooshop, elle est électroniquement adressée à l'entrepôt n° 1 ou n° 2, selon la localisation géographique du client. Pour un habitant de Sceaux, la commande partira forcément de l'entrepôt n° 1 de Meudon, qui devient pour cette commande « l'entrepôt maître ». Si le client avait habité Paris, il aurait été livré à partir de l'entrepôt n° 2 et c'est ce dernier qui aurait alors joué le rôle d'entrepôt maître. C'est pourquoi chaque jour, d'importants flux de produits transitent entre ces deux entrepôts ; cette fois ce sont des trente-huit tonnes qui assurent les transferts et non des camionnettes.

Selon la composition de la commande, Ooshop pourra avoir une triple activité pour la constituer :

- si la commande contient certains types de fruits, le fournisseur indépendant concerné sera directement et électroniquement prévenu ; il livrera les produits déjà conditionnés à l'entrepôt n° 1 qui les ajoutera au reste de la commande ;
- si la commande contient des produits secs tels que des couches pour bébés, ou des produits d'entretien pour la maison, c'est l'entrepôt n° 2 qui va rassembler ces produits et les livrer à l'entrepôt n° 1. Les fractions de commandes ainsi constituées sont regroupées et livrées en fin de journée à l'entrepôt maître ;
- enfin, si la commande contient des produits frais et des surgelés (et certains autres produits secs), c'est l'entrepôt n° 1 qui aura pour mission de les réunir. Les trois sous-ensembles précédents sont donc regroupés dans l'entrepôt n° 1 avant d'être acheminés vers le domicile du client ou vers un des points services.

La constitution des commandes dans les entrepôts est réalisée selon des règles bien précises. Elle est effectuée par des préparateurs équipés de terminaux portables, munis de scanner miniature pour la lecture des codes à barres. La commande apparaît sur l'écran du terminal portable et indique au préparateur où trouver chaque produit. En général, pour gagner du temps, chaque préparateur traite deux commandes à la fois. Dans l'entrepôt de Meudon où il y a trois grandes zones, chaque commande déclenche le départ de 3 préparateurs, un pour chaque zone.

Scanner le produit permet non seulement d'établir progressivement la facture du client, mais aussi de décompter le produit des stocks. Ainsi, grâce à une *liaison en temps réel*, tout produit en rupture de stock sera déclaré indisponible si un client connecté souhaite l'ajouter à sa commande en cours. Certes, on peut imaginer quelques décalages, par exemple lorsque plusieurs clients à peu près à la même heure sélectionnent le même produit. De ce fait, le niveau de service est très voisin de 100 %. Lorsque les produits commandés et payés ne sont finalement pas disponibles dans les délais, Ooshop prévient ses clients par e-mail et rembourse le prix du

produit au client. Il est dans l'intérêt d'Ooshop de limiter au maximum ces situations, car elles coûtent cher et écorcent l'image de sérieux du vendeur. La préparation de la commande ne se termine vraiment que lorsque le responsable qualité a vérifié le contenu du ou des cartons.

Les choix logistiques de la société Ooshop ne sont pas forcément ceux qui régissent la profession. Ainsi, Télémarket possède une seule plate-forme dans le nord de Paris, et a choisi d'automatiser au maximum sa logistique. Ainsi, dans la partie « épicerie sèche », Savoye Logistics a installé un système de préparation des commandes particulièrement perfectionné, minimisant les besoins en personnels<sup>1</sup>.

La montée en puissance régulière des activités de l'entreprise laisse présager certains changements dans la configuration logistique que nous venons de décrire. Il ne nous a pas été permis de les aborder pour des raisons de confidentialité, fort compréhensibles dans un secteur naissant où la concurrence est particulièrement vive.

## Conclusion

Dans les années 60 et 70, les entreprises étaient verticalement intégrées. Peu à peu, un mouvement de « désintégration verticale » s'est développé et amplifié ; ainsi par exemple, entre 60 et 70 % de la valeur ajoutée à une automobile ou à un avion provient des entreprises qui travaillent en amont, le reste étant du domaine du constructeur ou de l'avionneur. La recherche d'économies et la volonté de recentrer ses activités sur son cœur de métier expliquent cette tendance lourde. Comme l'indiquaient déjà au début des années 70, P. Lawrence et J. Lorsch, ou G. Richardson, *l'exigence de spécialisation* des tâches au sein d'un processus ne doit surtout pas aboutir à négliger leur *coordination*. Cette dernière est de moins en moins assurée par la propriété des moyens de production complémentaires, mais de plus en plus par une *intégration électronique et contractuelle*. Électronique parce qu'elle s'appuie sur l'informatique et les télécommunications, contractuelle car elle prend de plus en plus souvent la forme d'un contrat, à l'instar de l'accord de coopération qui constitue la première étape d'une GPA ou du CPFR. L'intégration est toujours présente, sous une forme différente.

Grands distributeurs, donneurs d'ordres, entreprises sous-traitantes de rang 1, et petits fournisseurs sont aujourd'hui conscients et persuadés que la satisfaction du client et la recherche d'une plus grande compétitivité (mais ces objectifs ne sont-ils pas liés ?) passent par la *rationalisation* de toutes les interfaces de la chaîne d'approvisionnement et par une plus grande *intégration* des fonctions et des partenaires de l'entreprise. Les NTIC et Internet sont des outils qui peuvent favoriser cette rationalisation et cette intégration. Il ne faut cependant pas tout attendre d'eux. Pour conclure,

---

1. Un article de *Logistiques Magazine* décrit avec précision la logistique de Telemarket et le fonctionnement du système de préparation des commandes, « Telemarket : l'entreprise à la vitesse du Net », *Logistiques Magazine*, n° 155, mars 2001.

nous présenterons dans le tableau 5.4 une sorte de synthèse des principaux éléments évoqués dans ce chapitre.

Tableau 5.4 : Évolution des principales caractéristiques de la logistique

<b>La logistique traditionnelle... est dépassée</b>	<b>La logistique moderne... est le miroir d'une stratégie ECR</b>
Le mot d'ordre est généralement : réduction des coûts	Le mot d'ordre se complexifie et devient : <i>satisfaction du client</i>
Chaque acteur de la chaîne logistique <i>optimise localement</i> sa propre activité	Les différents participants préfèrent une <i>optimisation globale</i> de la chaîne logistique
Les acteurs de la chaîne logistique s'opposent dans le cadre de <i>rapports de force</i> plus ou moins violents	Malgré des affrontements inévitables, les acteurs prennent conscience des avantages liés à la <i>collaboration</i> , et deviennent <i>partenaires</i>
Rôle fondamental des <i>stocks</i>	Importance des <i>flux</i> - Concept PFBS Product Flow Based Strategy
Les stratégies logistiques sont adaptées à la pratique de la <i>production sur stock</i> (flux poussés)	Les méthodes de <i>production en flux tirés</i> , tendus ou synchrones conduisent à une reconfiguration de la logistique
L' <i>entrepôt</i> est l'infrastructure de base	La <i>plate-forme</i> devient l'élément clé
<i>Livraisons point à point</i> sans rupture de charge	Livraisons en <i>cross-docking</i> avec rupture de charge unique ou multiple
Les éléments de base sont les <i>produits</i>	Les éléments de base sont les <i>produits et les informations</i> associées aux produits et aux flux
<i>Prévisions peu développées</i> , calculées individuellement et uniquement sur la base des historiques de ventes	Modèles de <i>prévisions sophistiqués</i> , fondés à la fois sur les historiques des ventes et sur les informations obtenues en temps réel à partir des caisses ou des sorties entrepôts
Gestion des approvisionnements séquentielle et indépendante	Gestion <i>continue</i> des approvisionnements et <i>partage des informations</i> (GPA et CPFR)
Les technologies de l'information et de la communication ont un <i>rôle de support</i>	<i>Rôle stratégique</i> joué par les NTIC
Communications bilatérales fréquentes et coûteuses	Avec <i>Internet</i> et ses dérivés ( <i>extranet, market places</i> ), la communication entre les partenaires devient <i>multilatérale</i> et peu coûteuse
Schémas logistiques relativement simples	La globalisation des marchés conduit à la naissance de schémas logistiques complexes
Les entreprises sont <i>verticalement intégrées</i>	L' <i>externalisation</i> de la logistique est fréquente mais ne conduit pas à une désintégration car elle est accompagnée d'une <i>intégration électronique</i>
À l'ère d'Internet, <i>l'entreprise étendue</i> , fonctionnant au sein d'un <i>réseau de partenaires</i> , est aujourd'hui le modèle dominant. Dans ce cadre stratégique, la place de la logistique ne pouvait que s'accroître, dans la mesure où elle assure l'interface physique et informationnelle entre tous les acteurs.	

### Thèmes de réflexion

- 1 – (Correction p. 449) *Le principe de base de la GPA est finalement assez simple :*
- grâce à des statistiques de vente, les fournisseurs déterminent la consommation moyenne par gamme de produits ou par référence sur une période donnée, et calculent un niveau de stock minimal ;
  - en fonction des sorties (repérées par les caisses ou par les gestionnaires des réserves), des en-cours, des délais de livraison, et en tenant compte des quantités multiples de livraison décidées contractuellement, le fournisseur établit des propositions d'approvisionnement.

*Deux questions peuvent se poser :*

- a – *Cette collaboration entre le fournisseur et le distributeur conduit-elle à de nouvelles pratiques commerciales ?*
- b – *Les résultats de la GPA montrent que le niveau de service s'est amélioré dans la plupart des situations. Dans ce cas, pourquoi les prévisions ne pourraient-elles pas être réalisées par le distributeur ?*

- 2 – (Correction p. 449) *En France, l'ensemble des concessionnaires Ford utilise depuis la fin de l'année 2000 le système OTD : Order To Delivery. Selon vous, par rapport au nom de ce programme, quels en sont les principales caractéristiques ? [Source : Journal de l'Automobile, hors série sur « Ford Motor Compagny », 16 mars 2001 ]*

- 3 – *Quelles sont les principales implications du category management sur la logistique ?*

- 4 – *Quels critères retient-on lors de la localisation d'un entrepôt ou d'une plate-forme ? À titre d'illustration, vous pouvez réfléchir aux critères retenus par Ford lors de l'implantation du centre logistique traitant les pièces de rechange, dans la périphérie d'Estrées-Saint-Denis (petite ville près de Compiègne).*

- 5 – *Quel est le rôle de la reverse logistic ; pourquoi certains spécialistes pensent-ils qu'elle est promise à un bel avenir ?*

- 6 – *Après avoir assimilé ces cinq premiers chapitres, que pensez-vous du rôle joué par les stocks aujourd'hui ?*

- 7 – *« Much has been written in recent years about outsourcing logistics activities. Various terms have been introduced to describe the outsourcing phenomenon, such as Third-Party Logistics (TPL) and logistics alliances, but the terminology is not always consistent. In some cases the term TPL is used to describe traditional arm's length sourcing of transportation and : or warehousing... » [Source : P. Van Laarhoven, « Third-Party Logistics, the provider and the shipper perspective », Chapitre 7 de l'ouvrage coordonné par N. Fabbe-costes, Faire de la recherche en logistique et distribution ?, FNEGE, Vuibert, 2000.]*

*En vous appuyant sur le texte précédent, analyser l'actualité du modèle de coopération dans le domaine de la logistique.*

# 6

# LE MANAGEMENT INTÉGRÉ DE LA QUALITÉ

**L**ors d'enquêtes particulièrement sérieuses, il apparaît que l'amélioration de la qualité des produits et des services est actuellement prioritaire pour 85 % des entreprises interrogées, à peu près au même titre que l'impératif plus global de satisfaction du client. Pour la grande majorité d'entre elles, la qualité est un objectif essentiel qui dépasse les objectifs plus classiques de conquête de nouveaux marchés, de baisse des coûts, ou de réorganisation<sup>1</sup>. De même, alors qu'au début des années 80, seules un quart des mille plus grandes entreprises françaises possédait un service qualité, elles sont aujourd'hui plus des trois quarts à en posséder un, dont la taille et la structure sont en perpétuelle progression. Ces quelques repères montrent qu'il est impossible de négliger cette dimension du management de l'entreprise et de la production.

S'il a souvent été démontré combien la référence aux préceptes de qualité est devenue importante, il est primordial d'en comprendre l'origine afin de bien maîtriser ses principes de gestion. De plus, la qualité constitue – au même titre que les autres impératifs majeurs de la gestion de production – un principe organisateur et fédérateur de la fonction de production. C'est de la prise en compte de cette dimension intégratrice dans l'entreprise et entre entreprises que résultent les modalités actuelles de gestion de la qualité.

Après avoir évoqué l'historique du concept et proposé quelques éléments de définition permettant de comprendre en quoi la qualité est un vecteur d'intégration [section 1], nous étudierons en détail les outils au service du management de la

---

1. Cf. le site du Mouvement français de la qualité : [www.mfq.asso.fr](http://www.mfq.asso.fr).

qualité. Notre analyse sera d'abord qualitative [section 2] avant d'être quantitative avec la description des principaux outils statistiques [section 3]. Nous concluons ce chapitre par l'étude de la certification et des normes, dont une des principales caractéristiques sera de mettre en évidence l'aspect transversal et intégrateur du concept de qualité [section 4].

---

Section 1	■	Définition et évolution de la qualité : vers une pratique de la gestion totale de la qualité
Section 2	■	Les outils du management de la qualité
Section 3	■	Les principales méthodes statistiques au service du management de la qualité
Section 4	■	Qualité et certification de l'entreprise : de l'assurance qualité au management total de la qualité

---



## DÉFINITION ET ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ : VERS UNE PRATIQUE DE LA GESTION TOTALE DE LA QUALITÉ

Les ouvrages traitent généralement de la question de la qualité comme s'il s'agissait d'introduire une rupture majeure dans les modalités de gestion de la production. À ce titre, la qualité est souvent perçue comme un concept novateur, dont l'étude se limite à l'exploration des pratiques actuelles. Or la perception de la notion de qualité, de ses principes et de ses modalités de gestion dans l'entreprise, résulte d'une construction dynamique dont l'origine peut être située bien avant notre ère. En effet, ce sont les mutations successives de l'environnement économique et social, puis industriel, qui permettent d'appréhender les différents stades successifs d'évolution de la qualité.

C'est à partir du XX<sup>e</sup> siècle, avec l'arrivée du taylorisme, des études de R.A. Fisher<sup>1</sup> sur les plans d'expérience et celles de W.A. Shewhart<sup>2</sup> sur le contrôle statistique des procédés, qu'une conception solide et homogène du concept et de ses modalités de gestion dans l'entreprise apparaît. Depuis, la notion de qualité a pris des orientations différentes comme le souligne D. Garvin<sup>3</sup> qui dégage plusieurs étapes clés :

1. R.A. Fisher, *The Design of Experiment*, 8<sup>e</sup> éd., Hafner Publishing Company, 1966.

2. W.A. Shewhart, *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, New-York, D. Van Nostrand Company, 1931.

3. D. Garvin, *Managing Quality : the strategies and competitive edge*, The Free Press, New York, 1988.

- l'inspection dans le cadre de l'OST et le contrôle statistique de la qualité,
- l'assurance dans la logique de production postfordienne,
- la gestion stratégique de la qualité grâce à la qualité globale dans l'entreprise moderne.

## 1 La qualité : un concept vieux comme le monde...

Si la qualité est devenue aujourd'hui un enjeu stratégique majeur, son rôle dans l'activité économique a été très tôt remarqué<sup>1</sup>. Certains ouvrages mentionnent des pratiques de gestion de la qualité datant de l'an 2150 avant notre ère. Par exemple, dix-huit siècles avant J.-C., Hammourabi<sup>2</sup>, roi de Babylone (1792-1750 avant J.-C.), élabore un code dans lequel il reprend les règles orales et les jurisprudences antérieures. Des passages traitent du droit commercial et favorisent la puissance des marchands. D'autres passages précisent les responsabilités liées à la pratique de certaines opérations. Ainsi, ce véritable Code civil élaboré par Hammourabi stipule que si un entrepreneur construit une maison qui s'effondre en causant la mort d'un homme, il devra être exécuté. En Égypte, quinze siècles avant J.-C., afin de garantir la tenue des monuments pharaoniques, les perpendicularités et la régularité d'un bloc de pierre étaient vérifiées par un inspecteur à l'aide d'une corde ou d'une règle en os.

En France, c'est au Moyen Âge qu'apparaît le début d'une organisation de l'industrie et d'une conceptualisation de la notion de qualité. Ainsi, saint Louis demande-t-il au prévôt des marchands de rédiger un « Livre des métiers » qui énonce les obligations relatives à la qualité du travail des corporations et les pénalités encourues pour les défaillances. Au XVII<sup>e</sup> siècle, Colbert décide que celui qui met en vente un drap non conforme aux règlements sera puni la première fois d'une amende, puis du pilori, et enfin à la troisième récidive, des galères. Si le temps de la réglementation régaliennne perdure tout au long du XVII<sup>e</sup> siècle, le siècle suivant s'annonce comme celui de la liberté (Diderot) face à ce qui était considéré comme un excès de réglementation colbertiste. Cependant, à la mort de Quesnay (« *laisser faire, laisser passer* »), la politique réglementaire sonne le glas de la liberté. La qualité s'exerce de nouveau en termes normatifs. Au sein de l'entreprise, on voit aussi arriver des modes de gestion originaux de la qualité. Ainsi, les premiers « cercles de qualité » apparaissent-ils grâce à l'initiative de l'industriel J.-B. Godin. Ce fabricant d'appareils de chauffage en fonte propose en effet à ses ouvriers de se constituer en « groupes d'étude volontaires » afin d'améliorer les services de l'entreprise. Au bout d'un an, après avoir constaté l'échec de sa proposition, il inventera un système de suggestion et créera un journal d'entreprise.

1. R. Dragomir, B. Halais, « Des millénaires de qualité », *Annales des Mines*, avril-mai 1996.

2. J.-P. Raïche, B.-M. Béchard, « Les outils de la qualité, une approche intégrée », *Forum Qualité Scientifique*, automne 2000.

Si le XIX<sup>e</sup> siècle est celui des utopistes (courant des saint-simonistes), c'est aussi celui des déterministes qui font des sciences comme la mécanique, l'astronomie, la physique ou la chimie des sciences dominantes. C'est dans ce cadre-là que l'OST se développe. F.W. Taylor adhère à cette rigueur scientifique dont il souhaite appliquer un certain nombre de principes dans l'industrie. Les répercussions en termes de gestion de la qualité ne tardent pas à apparaître.

## 2 La gestion de la qualité chez Taylor : le respect des règles de fabrication des produits

### 2.1 La qualité-inspection

Dans le cadre du modèle de production taylorien<sup>1</sup>, « *l'application systématique de la méthode scientifique à l'étude de tous les phénomènes industriels* » (Le Chatelier, 1915), conduit à faire une large place aux différentes modalités de mesure et d'évaluation du travail de l'ouvrier. Une fois les opérations d'observation puis de standardisation réalisées, ces mesures s'organisent à travers des procédures de chronométrage, de rémunération au rendement... (voir chapitre 1). Elles participent au contrôle des opérations effectuées, et traduisent un mode de gestion particulier de la qualité. La notion de qualité revêt ici une signification particulière, car elle s'assimile à de la *qualité-inspection*<sup>2</sup> ou de la *qualité-surveillance*. Il s'agit en fait de vérifier que les opérations de production sont effectuées conformément aux principes, aux normes, aux règles élaborés par le bureau des méthodes. Donc dans la logique taylorienne, déterminer si un produit, une opération... est conforme aux règles est avant tout une question de contrôle. L'objectif de l'inspection est de s'assurer que le produit répond localement aux impératifs fixés par le bureau des méthodes en terme de norme de travail. D'un point de vue global, cette démarche se justifie par la recherche d'une optimisation de l'organisation, donc d'une optimisation des opérations à effectuer au moyen notamment de l'inspection.

Mais cette démarche présente plusieurs limites. D'une part, les attentes du client ne constituent pas une préoccupation pour le gestionnaire de la production. L'attention est ici portée sur le produit lui-même et non sur les besoins des consommateurs. D'autre part, ce processus de gestion de la qualité entraîne inévitablement des conflits entre les ouvriers qui fabriquent les produits et les contrôleurs. Le coût de la « non-qualité » dans certaines usines où le climat social était déplorable avoisinait un taux de reprise de la production de l'ordre de 50 %. Enfin, dans le cadre d'une organisation complexe qui produit sur une grande échelle, l'inspection de la qualité s'avère très coûteuse. À côté du coût généré par le contrôle lui-même, celui-ci implique

1. F.W. Taylor, *Shop Management*, Harper et Brothers, 1919.

2. L'ouvrage de P.-Y. Gomez (1994) sur lequel nous nous appuyés dans ce paragraphe est particulièrement intéressant et offre un éclairage original de l'histoire de la qualité.

l'élimination systématique des produits non conformes. L'objectif de production ne peut alors être atteint que si un nouvel ordre de production est lancé.

## 2.2 La qualité-contrôle ou le contrôle statistique de qualité

L'organisation fordienne de la production est très sensible à ce dernier argument financier. La recherche de la maîtrise de la conformité est alors largement menée aux États-Unis et en Grande-Bretagne. Le premier service qualité prend forme en 1924, dans une usine de Bell Telephone. À partir des années 30, la notion de *qualité-contrôle* se substitue progressivement à la notion de qualité-inspection. Elle cherche à prendre en compte un niveau acceptable de défauts afin de maîtriser les coûts. À partir d'une démarche qui reste de nature scientifique et basée sur le calcul de probabilités, des universitaires tels que N.E. Deming, J.-M. Juran et H.F. Dodge<sup>1</sup> vont développer le concept de niveau de qualité acceptable (NQA). Nous reviendrons sur le mode de calcul de cet indicateur et sa signification lors de la section 3.

Si la qualité-contrôle maintient la référence à une organisation scientifique de la production, elle introduit cependant une ligne de fracture par rapport à l'idéal taylorien d'optimisation de l'organisation. En effet, en posant comme principe de gestion de la qualité l'existence de probabilités d'erreurs (calculées sur la base d'un processus de production donné), l'hypothèse de défaillance du processus de production est admise. L'idée d'une optimisation de l'organisation productive est alors abandonnée au profit d'une vision moins mathématique, donc moins rigoureuse, de l'organisation. La nouvelle question qui va se poser à l'entreprise consiste à savoir qui est fondé à déterminer ce niveau de qualité acceptable.

## 3 La période fordiste : l'adaptation du produit aux besoins du client

La Seconde Guerre mondiale conduit l'armée américaine à s'enquérir de modalités de gestion de qualité afin de les appliquer à son matériel de guerre et plus généralement à l'ensemble de ses équipements. En effet, ils sont jusqu'alors fabriqués en grande quantité et dans des délais extrêmement courts, ce qui laisse peu de place à la maîtrise de la qualité. Dès 1942, les universitaires précurseurs dans le domaine de la qualité mettent leur savoir à la disposition des armées. J.W. Deming assure des séminaires de formation alors que J.M. Juran et M.F. Dodge créent un groupe de travail à l'université de Columbia afin d'accroître la productivité et la qualité dans le secteur de l'armement. C'est en 1951 que Juran publie un ouvrage de référence en la matière qu'il intitule *Quality Control Handbook*<sup>2</sup>.

1. H.F. Dodge, *Sampling Inspection Tables*, John Wiley and Son, 1944.

2. J.M. Juran, *Quality Control Handbook*, MacGraw-Hill, 1951.

C'est aussi à cette époque que l'on cherche une réponse à la question posée précédemment : qui est chargé de déterminer le niveau de qualité acceptable ? La réponse se trouve en fait du côté du consommateur. Si jusqu'aux années 50 celui-ci a été négligé (Ford soutient lui-même que « *chaque client peut choisir la couleur de la Ford Modèle T à condition qu'elle soit noire* »), il se met progressivement à orienter l'activité économique. L'entreprise s'informe directement auprès du client afin d'assurer l'adéquation entre l'offre et les attentes du consommateur. Elle prend aussi conscience du fait que le salarié est un consommateur, et qu'à ce titre, il est au centre d'un cercle économique vertueux. C'est dans ce nouveau contexte d'ouverture et d'écoute de l'environnement que W.E. Deming<sup>1</sup> et J.-M. Juran vont développer le concept d'*assurance-qualité*. Il s'agit de maintenir un certain niveau de qualité jugé acceptable par un consommateur représentatif, c'est-à-dire un consommateur moyen dont le comportement reflète celui de la masse des consommateurs. Le niveau de qualité acceptable consiste à définir le minimum de qualité qu'est en droit d'exiger le client vis-à-vis de son fournisseur. La norme AFNOR X50-109 de décembre 1979 définit ainsi l'assurance-qualité : « *Ensemble approprié de dispositions préétablies et systématiques, destinées à donner confiance en l'obtention régulière de la qualité requise.* »

La qualité s'inscrit ici dans une démarche de nature contractuelle entre l'entreprise et le consommateur puisqu'elle apporte des garanties. Cette logique relationnelle introduit une rupture de fond par rapport au modèle de gestion de la qualité dans l'OST, car les attentes du client constituent une préoccupation majeure. Cependant, concernant les modalités d'exercice de la qualité, il existe un point commun entre les deux démarches. L'engagement de l'entreprise se matérialise par des procédures de contrôle, des dispositions préventives assurant la gestion de la qualité à différents niveaux de la chaîne productive, la constitution de groupes de contrôle ad hoc, l'émergence du corps des ingénieurs qualitatifs... Donc, comme chez Taylor et chez Ford, l'assurance qualité implique la multiplication des procédures de contrôle. Ce mode de gestion de la qualité, s'il permet de remédier à la première limite du modèle traditionnel (négligence du consommateur) n'en conserve donc pas moins deux points faibles. D'une part, en conduisant à l'élimination des produits défectueux, il favorise les conflits internes entre opérateurs et contrôleurs. D'autre part, il s'avère très coûteux et grève ainsi la compétitivité de l'entreprise qui le pratique. Ce manque de compétitivité est renforcé par le fait que l'assurance qualité s'organise souvent au sein d'un cadre formaliste et bureaucratique qui développe la rigidité de l'organisation et des processus de gestion.

---

1. W.E. Deming, *Sample Design in Business Research*, 1960.

## 4 L'ère de la qualité totale : la maîtrise du coût et la satisfaction de l'ensemble des attentes des consommateurs

### 4.1 Évolution de la notion de qualité et définition de la qualité totale

#### ► Quelques repères historiques

Après la Seconde Guerre mondiale, le contrôle de la qualité se répand dans tous les pays. Ainsi en France, l'Institut de la statistique et l'Association française pour le contrôle industriel de la qualité (AFCIQ) sont respectivement créés en 1952 et 1957. En 1956, l'état-major du général Mac Arthur, confronté aux problèmes de défaillance du réseau téléphonique japonais, fait appel à des spécialistes américains de la qualité. Des experts appartenant notamment à la Western Electric proposent leurs services. Désormais, les spécialistes américains sont souvent sollicités par les entreprises japonaises désireuses de relancer leurs industries et de retrouver rapidement leur compétitivité. Un groupe de chercheurs sur la gestion de la qualité (OCRG) est créé en 1949 au sein de la fédération nipponne des ingénieurs et chercheurs, la JUSE. En 1950, K. Ishikawa et la JUSE invitent Deming à venir faire des conférences. C'est au tour de Juran en 1954, puis de A.V. Feigenbaum<sup>1</sup>, d'être conviés au Japon. L'objectif est d'accélérer la formation des responsables techniques nippons aux nouvelles méthodes de gestion de la qualité.

Si l'école japonaise de la qualité doit beaucoup aux universitaires américains, elle se développe surtout autour des travaux de K. Ishikawa<sup>2</sup>, car ce sont les Japonais qui comprennent le plus vite les enjeux industriels liés à la qualité. Dès les années 50, ils font de leurs entreprises un véritable terrain d'expérimentation des méthodes américaines. Ainsi, des efforts considérables sont réalisés pour sensibiliser l'ensemble des acteurs de l'entreprise à la notion de qualité. Par exemple, en 1956, un cours de gestion de la qualité est radiodiffusé. Des actions de formation à la statistique se multiplient à l'attention des cadres. De même, afin d'impliquer tout le personnel de l'entreprise dans cette démarche qualité, Ishikawa introduit à partir de 1962 les cercles de qualité. Sur la base du volontariat, il convie l'ensemble du personnel à participer à des groupes de travail dont l'objectif est de proposer des méthodes d'amélioration de la qualité.

Dès les années 70, c'est donc l'idée de la *qualité totale* ou *TQC* (*Total Quality Control*) qui se développe derrière ces différentes pratiques de gestion (on dit encore *TQM* pour *Total Quality Management* ou, à la japonaise, *CWQC*, qui signifie *Company Wide Quality Control*). On notera que c'est aussi à cette époque de

1. A.V. Feigenbaum, *Total Quality Control*, MacGraw-Hill, 1961.

2. K. Ishikawa, *Initiation à la gestion de la qualité*, document Juse, 1964 ; *Le TQC ou la qualité à la japonaise*, Afnor Gestion, 1981 ; *La Gestion de la qualité*, Paris, Dunod, 1984.

P.H. Crosby<sup>1</sup> introduit la démarche du « zéro défaut ». Les grandes entreprises américaines attendront le début des années 80 pour appliquer la TQC. Pour certains, le concept de qualité totale vise seulement à appliquer plus systématiquement et plus largement l'assurance qualité à l'ensemble des activités de l'entreprise. Or, il semble en fait que la définition aille au delà. En effet, bien que les auteurs ne soient pas tous d'accord pour adhérer à une définition conceptuelle de la qualité totale (les principes clés de la TQC varient sensiblement d'un auteur à l'autre), on peut cependant retenir la définition proposée par le dictionnaire de la qualité<sup>2</sup>. La qualité totale est « un ensemble de principes, de méthodes et d'outils, organisés en stratégie globale visant à mobiliser toute l'entreprise pour satisfaire les besoins implicites et potentiels du client, et ceci à moindre coût ». La qualité totale s'assimile à un effort systématique, cohérent et intégré, pour développer un avantage concurrentiel en améliorant de façon continue toutes les facettes de l'organisation, afin d'atteindre la satisfaction totale des parties intéressées en impliquant tous les intervenants à tous les niveaux.

### ► *Les fondements de la TQC*

La qualité totale repose sur quatre grands principes<sup>3</sup> :

1 - Donner la priorité au client : toute l'activité de l'entreprise doit être de manière plus ou moins directe tirée par les exigences du client. La recherche de la qualité totale implique la satisfaction des besoins explicites mais aussi implicites des consommateurs. En ce sens-là, le concept de qualité totale est assez novateur puisque les entreprises qui veillent à satisfaire des exigences latentes se trouvent en perpétuelle recherche d'innovations. De même, la satisfaction du consommateur passe par l'application du « zéro défaut ». Concrètement, face à un consommateur dont le niveau d'exigence augmente, l'entreprise est amenée à multiplier les rappels et les retraits de marchandises, même si le produit ne présente pas de véritables problèmes (chez Leclerc ce sont plus de 200 articles par an qui sont retirés de la vente, et chez Carrefour la moyenne est d'un produit par jour<sup>4</sup>).

2 - Améliorer les processus : il s'agit d'améliorer les processus de gestion de l'ensemble de l'entreprise afin d'obtenir des résultats durables, et non se contenter de corriger les produits défectueux. L'amélioration peut se réaliser de trois manières : d'une part à travers l'application du modèle du *reengineering*, d'autre part par l'innovation, et enfin par le progrès permanent (*kaizen* japonais). L'amélioration permanente s'obtient en réitérant sans cesse les quatre étapes de la roue de Deming. Cette roue est représentée sous le sigle PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) comme le montre la figure 6.1 :

1. P.H. Crosby, *Quality is free*, MacGraw-Hill, 1979.

2. M. Périgord, J.-P. Fournier, *Dictionnaire de la qualité français-anglais*, AFNOR, Paris, 1993.

3. J. Demonsant, *Forum Qualité Scientifique*, « Plans d'expériences et qualité totale », Automne 2000.

4. *Le Nouvel Économiste*, « Le mythe du zéro défaut », n° 1162, 27 octobre 2000.

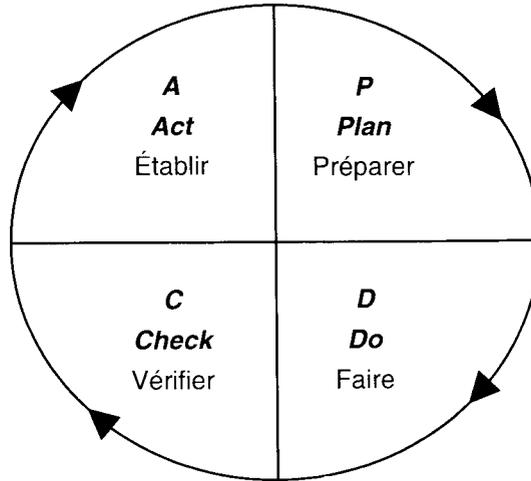


Figure 6.1 : Les 4 étapes du cycle PDCA

- la première étape (*Plan*) consiste à choisir un problème, observer une situation, se donner un objectif, analyser le problème et proposer une solution ;
- durant la deuxième étape (*Do*), la solution est mise en œuvre ;
- la troisième étape (*Check*) permet de vérifier que la solution retenue répond bien à l'objectif fixé ;
- la quatrième phase (*Act*) vise à assurer la pérennité de la solution (par exemple en établissant des règles de travail), et le cas échéant, à en étendre l'application à d'autres cas analogues.

Se fixer un nouvel objectif plus ambitieux au terme de ces quatre étapes induit un cercle vertueux de progrès permanent.

3 - Réduire les gaspillages et maîtriser les coûts : sachant que la mauvaise qualité coûte cher en rebuts, retouches, pertes de clientèles... la maîtrise des coûts liés à la gestion de la qualité doit constituer une préoccupation majeure pour les entreprises. Afin d'assurer la compétitivité et la pérennité de l'entreprise, les Japonais ont vite compris que – contrairement à ce que préconisaient les entreprises américaines – il faut agir sur les coûts et non sur les prix<sup>1</sup>. Pour les Japonais, les prix sont fixés par le marché et les nouvelles caractéristiques des produits (par exemple les caractéristiques de qualité) sont incluses dans le prix. Au contraire, les Américains soutiennent qu'il est possible d'augmenter les prix quand on ajoute de nouvelles caractéristiques aux produits. Cette opposition justifie le fait que la chasse au gaspillage constitue le mode de gestion par excellence des entreprises japonaises (voir le chapitre consacré au JAT). C'est dans ce cadre-là que s'exercent les principes de la TQC. Concrètement, le

<sup>1</sup> S. Shiba, A. Graham, D. Walden, 2000.

problème qui se pose consiste à réduire la variabilité du processus de production de façon à ce que les unités fabriquées se situent toutes dans un intervalle de qualité acceptable. L'objectif est d'obtenir une qualité totale du processus de production assurant un niveau zéro d'élimination des produits. Cette démarche impose l'adoption d'une nouvelle logique de gestion. Plutôt que de veiller à la qualité des produits au moyen d'un contrôle *ex post* de la chaîne de production, c'est la qualité du processus de production lui-même qui doit être assurée. Cela suppose un feed-back de l'information aux différentes étapes du processus de production, afin de procéder si nécessaire à des corrections.

4 - Obtenir l'engagement de tous les hommes de l'entreprise : la qualité n'est pas l'affaire de quelques spécialistes. Elle implique, d'une part, que tous les aspects de l'activité de l'entreprise soient concernés (études de marché, R&D, conception des processus de fabrication, achats, fabrication, sous-traitance, vente, SAV...) (Ozechi et Asaka, 1992). D'autre part, elle nécessite la participation de chacun, du haut de la pyramide (sommet hiérarchique) au bas de la pyramide (niveau opérationnel). Chaque acteur de l'entreprise doit être considéré comme un maillon essentiel au processus de gestion de la qualité. C'est en effet sur les ouvriers que repose le contrôle de la qualité à chaque étape du processus de production. Cette conception s'oppose donc aux modalités précédentes de gestion de la qualité qui favorisaient la multiplication des conflits entre opérateurs et contrôleurs. En considérant que chaque membre de l'entreprise se trouve désormais au cœur du processus de gestion de la qualité, puisqu'il est à la fois client et fournisseur de ses collègues, il doit à ce titre exercer sa responsabilité individuelle. Il s'agit d'adopter ici une vision subjective – par opposition au scientisme objectif de l'OST et de Ford – consistant à convaincre chacun de sa nécessaire implication personnelle dans le processus de gestion de la qualité.

Ces différents fondements orientent délibérément l'action de l'entreprise vers le client. L'élaboration d'un *plan d'action qualité*, dont les principales phases sont résumées dans la figure 6.2, permet la mise en pratique de ces principes.

Le succès de ce plan d'action qualité suppose concrètement :

- l'adoption d'un management de type participatif : celui-ci permet l'implication de tous et la responsabilité de chacun. Parallèlement à l'ensemble des moyens devant être mis à la disposition des acteurs, l'efficacité de ce type de management est conditionnée par l'obtention de l'information, la formation, l'autonomie, la délégation, la confiance, etc. ;
- la conformité par rapport aux spécifications quantifiables du client (qui peut être externe ou interne à l'entreprise) : la qualité de la relation contractuelle doit notamment permettre de mener des négociations lors de l'élaboration du cahier des charges ;
- la prévention : elle implique l'organisation de réunions préparatoires, la formation, la recherche des causes de défaillance des processus et de l'organisation, etc ;
- la recherche de l'excellence : il s'agit d'obtenir le « zéro défaut » par rapport aux exigences du client ;

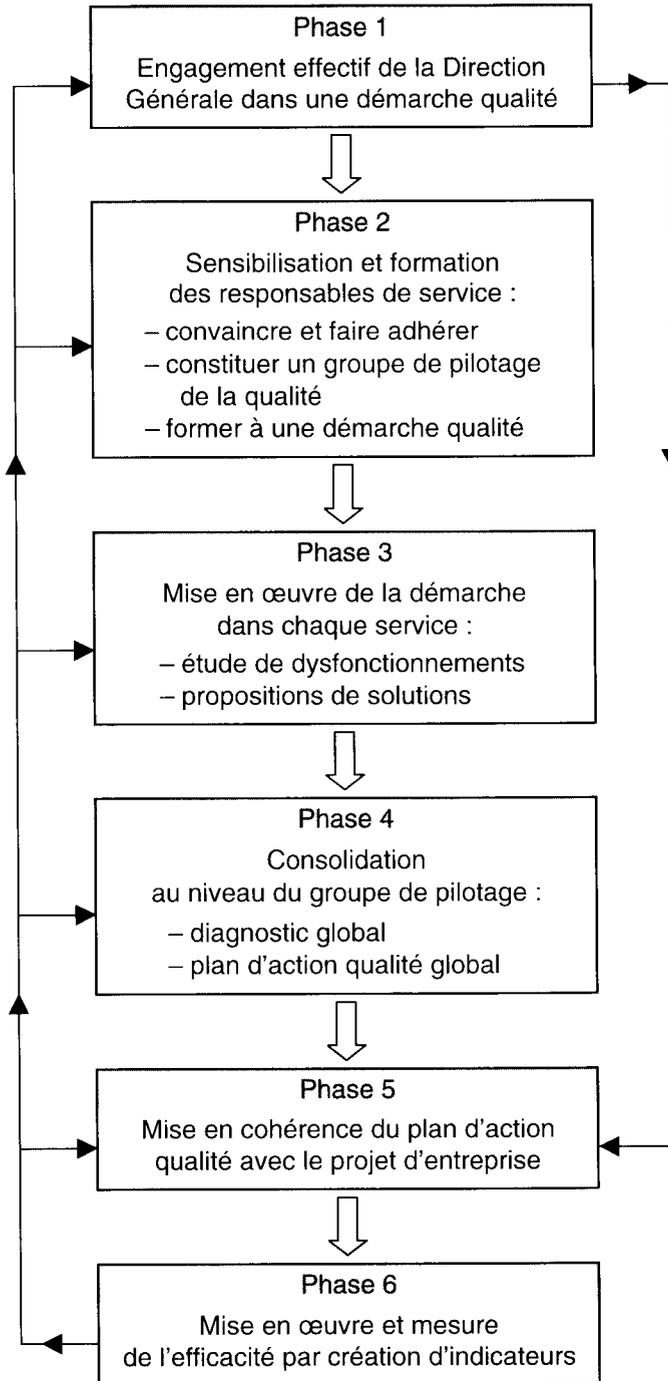


Figure 6.2 : Démarche du plan d'action qualité

- la mesure : l'évaluation de toute action permettant ou ne permettant pas d'atteindre les objectifs fixés en terme de qualité devient une étape incontournable.

## 4.2 Pour une approche stratégique et intégratrice du concept de qualité totale

La qualité totale introduit une ligne de fracture majeure par rapport aux modes de gestion précédents (voir tableau 6.1). En effet, les trois premières périodes (qualité inspection, contrôle statistique de la qualité et assurance qualité) assimilent la gestion de la qualité à une démarche de nature réactive ou défensive. La qualité est considérée dans le modèle productif traditionnel comme un problème à résoudre par l'entreprise. Au contraire, à partir des années 80, la qualité est perçue comme un avantage concurrentiel pour l'entreprise. Attribuer à la qualité le rang d'avantage compétitif c'est la situer bien au-delà d'un simple avantage commercial. Elle s'intègre désormais à la stratégie de l'entreprise en tant que facteur de compétitivité, et participe donc d'une nouvelle logique de gestion proactive. Cette démarche est aujourd'hui bien comprise puisque la plupart des chefs d'entreprise considèrent la qualité comme un investissement et non comme une dépense<sup>1</sup>.

Mais la qualité ne sera véritablement obtenue que lorsque l'entreprise et ses partenaires se seront rendus maîtres de l'ensemble des caractéristiques du produit et de ses composants. Cette maîtrise suppose la suppression de toutes les causes de défectuosité et ceci à chaque étape du processus de production. Ainsi, la panne n'est pas une fatalité comme le laisserait penser le déterminisme ambiant occidental (chez les Japonais on ne dit pas « tomber en panne » mais « mis en panne », ce qui signifie que la panne peut très bien être évitée par une excellente maîtrise des équipements). C'est donc une attitude orientée vers la prévention – par opposition à la correction – qui doit être adoptée. En ce sens-là, la démarche de l'entreprise doit être de nature anticipatrice. Elle doit privilégier l'action dans le cadre de la maîtrise d'un nouvel avantage concurrentiel.

Parallèlement à cette dimension stratégique, les Japonais attribuent un autre caractère à la qualité totale. La qualité totale apparaît comme une véritable philosophie sociale dans la mesure où elle concerne l'ensemble des acteurs de l'organisation et l'ensemble des fonctions. Cette philosophie se concrétise par une inclination naturelle à l'ordre et à la rigueur morale. Elle se manifeste aussi par la création de cercles de qualité dans les entreprises. Ces *cercles de qualité* initiés par Ishikawa se sont développés dans les années 60 au Japon et dans les années 80 en Occident. Leur rôle est consultatif. Ils sont constitués de petits groupes d'employés qui se rencontrent régulièrement afin de favoriser activement la recherche de solutions aux problèmes de non-qualité. Leur rôle consiste aussi à améliorer le fonctionnement global de l'entreprise et l'organisation du travail. Au Japon, les cercles de qualité se concentrent surtout sur les coûts et la sécurité. Leurs activités ne se rapportent qu'indirecte-

---

1. *Les Échos*, 8 décembre 1999.

Tableau 6.1 : Les principales évolutions du concept de qualité et de ses modes de gestion

Système industriel	Type de qualité	Logique de gestion	Objectif de conformité	Méthode de mise en œuvre	Auteurs
OST (dès 1900)	Qualité-inspection	Logique de réactivité Dimension opérationnelle	Conformité aux règles édictées par le BDM	Normalisation	Taylor (1919) Shewhart (1931)
	Qualité-contrôle	Cloisonnement fonctionnel	Seuil acceptable de défauts	Maîtrise Statistique des Procédés	Dodge & Remig (1944)
Fordisme (dès 1940)	Qualité-assurance	Logique de réactivité Dimension opérationnelle Cloisonnement fonctionnel	Adaptation à l'utilisation	Contrat implicite entreprise-client Contrôle des opérations	Deming (1960) Juran (1951) Feigenbaum (1951)
Toyotisme (dès 1970)	Qualité totale	Stratégie proactive Avantage concurrentiel Dimension intégratrice	Maîtrise des coûts Satisfaction des besoins actuels et latents du marché	Nouvelles relations au marché Améliorations anticipatrices	Feigenbaum (1961) Ishikawa (1964) Halpin (1966) Crosby (1979) Deming (1991)

ment à la qualité. Cette qualité s'inscrit dans la logique du *kaizen*, donc dans un souci d'amélioration permanente. Dans cette perspective, la qualité est l'affaire de tous. Chacun doit s'efforcer de construire la qualité à l'intérieur des différentes étapes du processus de production et des différentes fonctions de l'entreprise. Une des conséquences de cette philosophie est donc de considérer la qualité totale comme un concept intégrateur de l'organisation. La figure 6.3 reprend les différentes étapes de ce processus d'intégration.

À partir du moment où l'opérateur est au centre du processus de gestion, le décloisonnement vertical de l'entreprise s'organise au sein d'une fonction. Il s'agit d'un *processus intrafonctionnel* de gestion de la qualité. Si l'ensemble des fonctions est concerné par la mise en œuvre de la qualité, c'est le décloisonnement horizontal qui se met en place à travers un *processus de gestion interfonctionnel* de la qualité. L'objectif d'amélioration continue, notamment à partir de cercles de qualité, favorise cette gestion transversale de l'organisation. Mais, si la notion de qualité « totale » s'entend par l'implication de tous (quel que soit le niveau de la hiérarchie) et de toutes les fonctions au sein de l'entreprise, elle s'entend aussi en externe, par la prise en considération des attentes explicites et implicites des clients. Dans ce cadre, les fournisseurs sont directement impliqués dans le processus de gestion de la qualité et favorisent le développement d'un *processus interentreprises* de gestion de la qualité.

C'est donc aussi dans cette nouvelle relation au marché que s'exprime la notion de « totalité ». La capacité de l'entreprise à écouter et satisfaire le marché, mais aussi à anticiper ses besoins futurs et à innover, participe de cette conception totalisante et intégrée.

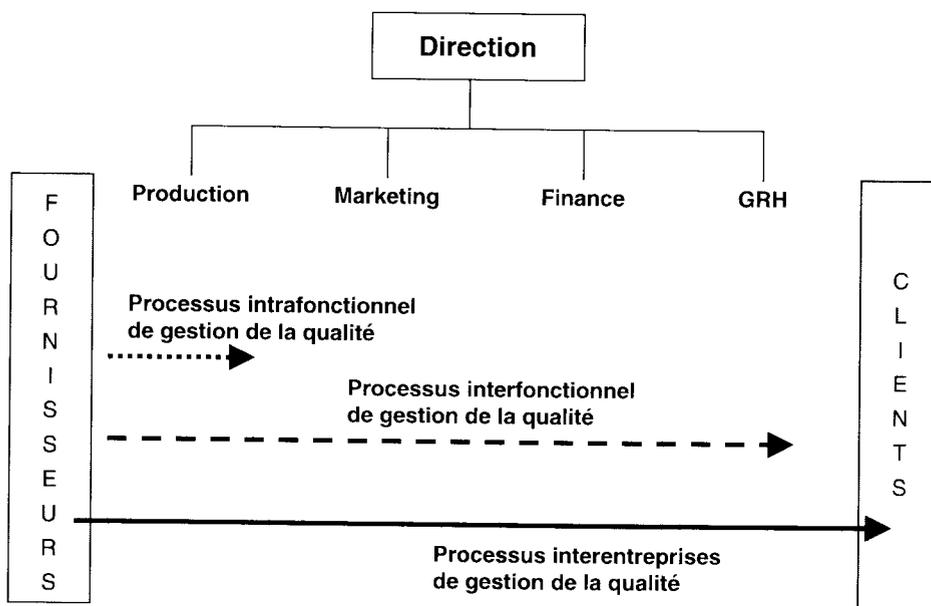


Figure 6.3 : Les différentes étapes du processus d'intégration de la qualité

Une définition de la qualité à retenir consiste à dire qu'elle dépend, non de la valeur intrinsèque du produit, mais de la perception que le client a de ce produit<sup>1</sup>. En effet, c'est l'adéquation des efforts de qualité pratiqués par l'entreprise en fonction des attentes actuelles et futures, implicites et explicites du marché, qui détermine le niveau de qualité atteint. Les efforts intrinsèques fournis unilatéralement par l'entreprise constituent une condition nécessaire mais non suffisante de qualité totale. L'approche interactive et anticipatrice qui se développe en permanence entre l'offreur et le demandeur conditionne le niveau de qualité requis aujourd'hui.

#### 4.3 De la théorie à la pratique : l'application de la TQC dans l'entreprise

##### ► *La qualité totale chez Carrier Networks*

Depuis 1984, Carrier Networks est certifiée ISO 9001 en tant que division de Siemens Suisse SA. Un système de gestion environnementale conforme à la norme

1. G. Baglin, O. Bruel *et alii*, 1996.

ISO 14000 a aussi été adopté dès 1998. Mais la nécessité d'une philosophie globale de la qualité a conduit l'entreprise depuis 1997 à appliquer un modèle de gestion de la qualité développé par l'European Foundation for Quality Management (EFQM). Ce modèle s'appuie sur une vision très large du concept de qualité et représente une variante occidentale de la méthode japonaise de *kaizen*. L'auto-évaluation et l'auto-analyse sont les concepts de base du modèle EFQM. Elles donnent lieu à l'instauration d'un processus permanent d'amélioration au sein de l'entreprise. Cette philosophie de la qualité est basée sur quatre règles qui traduisent la recherche de l'excellence qualité :

Première règle – L'amélioration continue : au lieu de viser un effort momentané et unique, l'entreprise mise sur une concrétisation continue, progressive et systématique des potentiels d'amélioration de la qualité.

Deuxième règle – L'apprentissage par l'expérience : Carrier Networks utilise les expériences qu'elle accumule quotidiennement pour agir encore plus efficacement dans un environnement technologique qui évolue vite. Elle reflète ainsi parfaitement le concept d'organisation apprenante.

Troisième règle – La diffusion maximale de la notion de qualité : il est indispensable d'améliorer constamment la qualité dans toute l'entreprise et chez les principaux partenaires. La qualité totale est pour l'entreprise une philosophie qui ne se délègue pas à un service ou à un département.

Quatrième règle – Être concerné signifie qu'il faut contribuer : toute l'entreprise doit partager l'idée de la qualité totale. Les collaborateurs doivent comprendre qu'il y va de leur intérêt personnel car ce sont en effet leurs propositions et leurs idées qui font progresser l'entreprise.

### ► *La qualité totale chez IBM*

Chez IBM trois principes de base constituent le socle de la gestion totale de la qualité. Le premier principe consiste à placer la qualité au cœur des préoccupations de l'entreprise. Le deuxième est de mettre le client au cœur de la relation commerciale. Le troisième est la certification ISO. Ce dernier aspect sera évoqué ultérieurement dans la partie consacrée à la normalisation. Les deux premiers fondements retiennent donc ici notre attention.

#### • *La qualité au cœur de l'entreprise*

La démarche qualité s'inscrit pour l'entreprise dans une perspective de long terme qui concerne l'ensemble des activités du groupe, mais également les réseaux de partenaires. Depuis 1999, l'objectif d'IBM est en effet de créer de véritables synergies avec ses partenaires, distributeurs, grossistes... afin de prolonger sa maîtrise de la qualité totale. Cela justifie pourquoi la qualité des fournisseurs fait l'objet d'une attention toute particulière.

Dès 1993, l'entreprise a recentré ses activités sur les besoins et les attentes des clients. Concrètement cela s'est traduit par la mise en œuvre *de processus et de modes opératoires transversaux*, afin de favoriser l'écoute client. Les mêmes règles s'appliquent à tous les niveaux de la hiérarchie et des fonctions. Elles concernent le développement des compétences, le travail en équipe, la création et la production de valeur pour le client. La démarche transversale doit être parfaitement lisible pour le client. Pour cela, des spécialistes métiers capables de comprendre les attentes et les besoins assurent l'interface. C'est sur eux que repose la qualité de la relation commerciale. Ils sont aidés dans leur travail par des équipes produits et/ou services ad hoc spécialisées.

La qualité totale passe aussi par la *mesure* de la satisfaction des clients. Une fois par an, pour l'ensemble des grands clients et sur un échantillon de PME-PMI, IBM procède à une enquête externe de satisfaction globale. Réalisé par la SOFRES, le questionnaire porte à la fois sur la satisfaction des clients par rapport à IBM, mais aussi par rapport à la concurrence. Une note globale de satisfaction entre 0 et 10 est donnée, puis le questionnaire s'organise autour de différents thèmes comme le mode de travail chez IBM, la facilité d'accès à l'information, la réactivité, le respect des engagements, les méthodes de facturation, la qualité des produits... Au quotidien, à l'issue d'une transaction commerciale, des mesures spécifiques sont aussi mises en œuvre afin de compléter cette évaluation générale. De même, IBM a mis en place un « centre d'appels » à l'attention de tous les clients et des « centres de support » destinés aux équipes IBM. Il existe trois centres de support. Le *Techline* mis en œuvre au niveau européen répond à toute question technique concernant l'avant vente. Le SDC (Solution Design Center) aide les équipes commerciales à développer des propositions complexes. Afin de bénéficier des expériences passées, le SDC propose aussi une base de données à partir des propositions antérieures. Enfin, le SCP (Sales Productivity Center) est un service de support à la constitution de propositions peu élaborées.

- *Le client au cœur de la relation*

La démarche TQC repose largement sur la qualité des hommes. Ils doivent partager la même culture de satisfaction du client, s'appuyer sur des processus de gestion, sur un système de management et des outils spécifiques. Le système CRM d'IBM (Customer Relationship Management) est le seul système de management des affaires qui fédère l'ensemble des forces commerciales d'IBM pour atteindre des objectifs de satisfaction clients. Celui-ci repose sur trois axes :

- le premier axe vise à améliorer la relation client. Il repose sur le travail du *Relationship Manager* qui est un ingénieur commercial chargé de la gestion de la relation globale avec le client. Le *Relationship Manager* va à la rencontre des clients pour connaître leurs projets à venir, mais aussi pour s'assurer de leur satisfaction tout au long de la relation avec IBM. Là encore, des équipes ad hoc, sont constituées pour répondre aux exigences du client. Afin de mesurer la satisfaction, le *Relationship Manager* dispose depuis 1997 d'un outil : le programme SET/MET (SETting and METing customer expectations). Le SET/MET est effectué par

l'ingénieur d'affaires avec le client. Ce bilan de satisfaction est renouvelé régulièrement et permet de proposer des plans d'actions en fonction des attentes des clients ;

- dépasser les attentes des clients constitue le deuxième axe de travail. En effet, la réactivité commerciale doit être privilégiée. L'ingénieur d'affaires passe alors le relais à l'*Opportunity Owner*. En collaboration avec le client, ce dernier développe la solution la plus adaptée. Il peut créer une équipe composée de spécialistes afin de mettre en œuvre sa solution. Il fait alors appel au *Ressources Deployer* qui proposera de mettre à sa disposition un certain nombre de collaborateurs. Depuis 1997, le développement de l'*OMC* (Opportunity Management Center) a permis, au travers une vision plus centrale et plus globale de l'organisation, d'assurer une meilleure couverture des clients et un déploiement plus efficace des ressources ;
- le dernier axe de la relation avec le client consiste à assurer efficacement le traitement des problèmes. Le *Resolution Owner* a en charge les réclamations des clients. Il coordonne le plan d'action à élaborer et à réaliser. Il a tous pouvoirs pour mobiliser les ressources internes et externes afin de résoudre le problème qui se pose. Il peut aussi constituer une équipe transversale dédiée à la résolution d'un problème particulier. IBM s'est fixé comme objectif le rappel dans les vingt-quatre heures de 90 % de ses clients et la proposition d'une solution dans les sept jours qui suivent, toujours pour 90 % des clients. Afin d'atteindre cet objectif, toute personne ayant pris connaissance d'un mécontentement inscrit cette donnée dans un système, afin que le responsable puisse avoir l'information.

Section

**2**

## LES OUTILS DU MANAGEMENT DE LA QUALITÉ

### 1 L'intérêt d'une typologie des différents outils de la qualité totale

#### 1.1 Objectifs de la typologie

Les « outils » de la qualité jouent un rôle déterminant à partir du moment où ils sont convenablement utilisés dans l'entreprise. Mais leur multiplication provoque souvent une certaine confusion dans leur approche conceptuelle, et des maladroites dans leur utilisation. En conséquence, des outils dits performants donnent parfois des résultats décevants. Plusieurs raisons justifient cet état de fait. D'une part, ces outils peuvent être soumis à des phénomènes de mode qui les conduit à être appliqués abusivement dans l'entreprise (ce fut notamment le cas des cercles de qualité

dans les années 80 en Occident). D'autre part, ils sont aussi parfois plaqués dans l'entreprise sans réflexion et mutation organisationnelle préalable. Enfin, ils peuvent être carrément inadaptés aux besoins réels de l'entreprise.

Le problème qui se pose alors à l'entreprise n'est pas tant de maîtriser l'outil en tant que tel (des consultants ou bien les experts de l'entreprise peuvent s'en charger) que d'en faire une utilisation correspondant réellement aux besoins. Un point commun entre ces différentes causes peut être trouvé si l'on étudie le degré d'implication des dirigeants en matière de gestion de la qualité. Celui-ci s'avère en général assez faible et justifie la faiblesse des résultats obtenus. Les outils mal connus échappent à une approche structurée de gestion de la qualité pourtant indispensable.

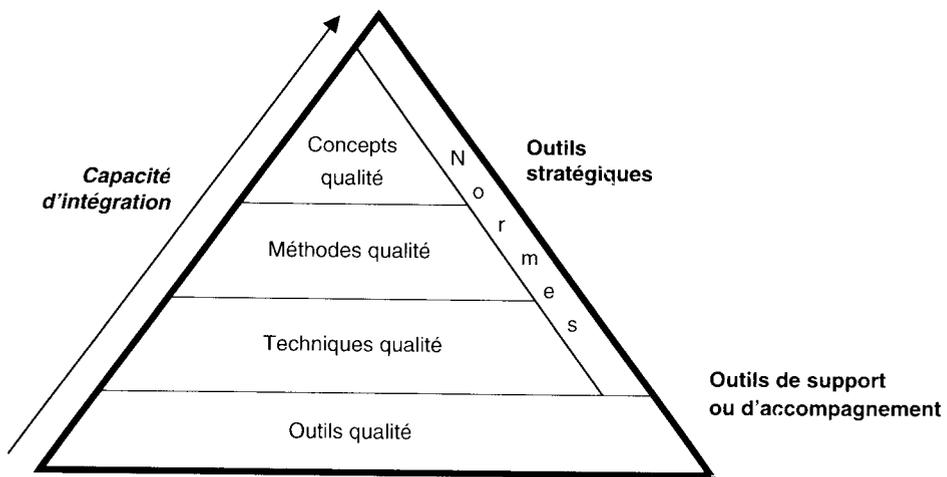


Figure 6.4 : Pratiques de la gestion totale de la qualité  
Source : Adapté de J.-P. Raiche et B.-M. Bécharde (2000).

Pour répondre à cet impératif d'adéquation entre besoin de qualité totale et pratique de qualité totale, une classification des différents outils constitue une solution pertinente. La classification proposée ici repose sur une conceptualisation et une définition précise des termes utilisés. En effet, il semble que la gestion totale de la qualité constitue aujourd'hui un impératif stratégique suffisamment sérieux (les coûts de la non-qualité peuvent représenter jusqu'à 20 % du chiffre d'affaires de l'entreprise<sup>1</sup>) pour qu'un effort d'éclaircissement soit entrepris. Cette classification, répond à un triple objectif (cf. figure 6.4) :

- d'une part, appréhender avec plus de clarté les principales *pratiques de gestion* de la qualité totale. Sachant que ces pratiques sont nombreuses, la présentation qui

1. S. Assouline, *Forum Qualité*, « Les outils de la qualité : faire les bons choix au bon moment », mars-avril-mai 1999.

en est faite ici ne sera pas exhaustive. Elle se limitera aux pratiques les plus essentielles et les plus courantes dans l'entreprise ;

- d'autre part, distinguer parmi les outils, ceux qui ont une *dimension stratégique* et ceux qui ne constituent qu'un *support de la qualité*. Ce sont alors les conditions d'application de l'outil qui apparaissent, ainsi que leurs répercussions en termes de performance qualité ;
- enfin, dans le cadre d'une démarche moderne de qualité totale impliquant l'ensemble des acteurs et des fonctions de l'entreprise, tant en interne qu'en externe, il est indispensable de disposer d'*outils intégrateurs*.

Cette classification constitue en quelque sorte une grille de lecture permettant d'orienter les choix de l'entreprise vers la pratique de la qualité totale, sur la base du degré d'intégration des outils. Plus l'on progresse vers le sommet de la pyramide (voire graphique ci-dessous), plus les outils ont un caractère stratégique pur, et plus ils disposent d'une capacité d'intégration croissante. Le critère de l'intégration se révèle être majeur dans la mesure où la qualité se veut ici totalisante, globalisante.

## 1.2 Présentation des outils

Une approche structurée s'impose pour obtenir un gain substantiel lié à l'utilisation de ces outils. Cette démarche implique la formation, le soutien permanent de la hiérarchie, la volonté de changer et surtout la persistance dans la mise en œuvre du changement. En effet, le retour sur investissement n'est pas immédiat. Toute entreprise doit donc se munir d'une « boîte à outil » de base permettant à chacun de disposer d'instruments communs pour maîtriser la qualité. Mais il convient d'inscrire cette politique dans un processus plus large de changement de culture. Il faut donc créer un environnement propice au changement et à l'utilisation de ces outils. Concrètement, cet environnement s'organise autour de méthodes d'organisation du travail comme la méthode des 5S, la méthode SMED, l'amélioration permanente (*kaizen*), etc.

Le choix des outils dépend bien sûr de la nature des besoins de l'entreprise. Les besoins ne seront pas les mêmes dans le cadre d'une entreprise industrielle et d'une entreprise de service<sup>1</sup>. Ainsi, la boîte à outil de l'entreprise Culinar, spécialisée dans la fabrication de petits gâteaux, contient en plus de la certification ISO 9002 et ISO 9001, la technique du diagramme de Pareto, le diagramme causes-effets d'Ishikawa auxquels s'ajoutent pour des besoins spécifiques la méthode d'organisation 5S, la méthode SMED ainsi que diverses techniques de résolution de problèmes. Ces outils s'organisent autour d'une démarche *kaizen*.

L'entreprise Beltron Technologie inc., qui est une entreprise de consultation en conception de produits électroniques et de logiciels, dispose aussi d'une boîte à outil conséquente mais différemment composée. À part la certification ISO 9001, elle ne dispose pas de véritable outil de gestion des processus. En revanche, elle est très

1. S. Assouline, *Forum Qualité*, op.cité.

bien équipée en ce qui concerne les outils de gestion du leadership (gestion du temps et des priorités), et les outils de l'information et de la communication (tableau de bord de gestion). De même, les outils de la planification stratégique, de la gestion des ressources humaines (gestion de la formation), et de mesure du niveau de satisfaction de la clientèle sont relativement nombreux et élaborés.

Selon leur dimension dans l'entreprise et dans le processus de qualité totale, on peut distinguer<sup>1</sup> :

- *les outils stratégiques* : ils assurent l'amélioration du positionnement concurrentiel de l'organisation. Ils représentent une composante majeure de son système de gestion et contribuent à accroître de façon permanente son efficacité. Ils reposent sur les concepts, les méthodes et sur une grande partie des techniques et des normes. Plus on s'éloigne des techniques pour aller vers le sommet de la pyramide, plus les pratiques sont intégratrices. Elles conditionnent sur une très longue durée un nombre croissant d'acteurs et de fonctions à la mise en œuvre des outils de la qualité totale ;
- *les outils d'accompagnement ou de support* : ils sont utilisés par les équipes de travail de façon beaucoup plus ponctuelle que les outils stratégiques. Leur rôle est tout d'abord de faciliter le changement en soutenant le processus d'amélioration continue. Ils accompagnent ensuite le déploiement et la mise en œuvre des outils stratégiques. Une petite partie des techniques qualité et des normes, ainsi que l'ensemble des outils de la qualité au sens strict du mot constituent cette catégorie. Il s'agit en fait de la partie basse de la pyramide. Ces outils ont une faible capacité d'intégration dans la mesure où ils font l'objet d'applications locales et ponctuelles.

## 2 Le détail de la typologie : des outils de support aux outils stratégiques

### 2.1 L'outil qualité

Dans son sens le plus strict, *l'outil qualité* proprement dit est un moyen ou un instrument conçu pour réaliser de façon efficace une tâche précise, selon un mode opératoire défini. Cette catégorie regroupe essentiellement sept types d'outils, dont la plupart seront décrits de façon détaillée lors de la prochaine section. L'importance de ces outils dans le processus de gestion classique de la qualité n'est plus à démontrer. Il s'agit :

- des feuilles de contrôle,
- du diagramme de Pareto,

---

1. On notera qu'il est parfois délicat de tracer une frontière nette entre les deux types d'outils, si bien que certains se trouvent à cheval entre les outils stratégiques et les outils d'accompagnement.

- du diagramme causes-effets,
- des graphes et stratifications,
- des cartes de contrôles,
- des histogrammes,
- et des diagrammes de dispersion.

## 2.2 Les normes

Au même titre que les sept outils de la qualité, les normes font l'objet dans cet ouvrage d'un développement très détaillé (cf. section 4). En effet, leur place dans le processus d'intégration des activités de l'entreprise justifie que l'on s'attache à leur étude avec précision. De plus, leur caractère hybride (outil stratégique et de support) leur attribue un caractère à part dans la typologie. Enfin, le succès des normes auprès des entreprises suggère que les normes « *ont encore de beaux jours devant elles* » (*Les Échos*, décembre 1999). Toutefois, il faut faire remarquer face à la tentation d'utiliser exclusivement les normes ISO, qu'il s'agit là d'une première approche de la TQC, mais que les normes à elles seules ne suffisent pas. Elles doivent être appréhendées de façon complémentaire aux autres outils.

## 2.3 La technique qualité

Selon Raiche et Béchar, la *technique qualité* est « *un ensemble de procédés ordonnés de façon systématique et utilisés dans un contexte bien précis pour atteindre un objectif déterminé. D'une portée plus large que le simple outil, elle est souvent constituée de plusieurs petits outils ordonnés et structurés selon un ensemble de règles opératoires* ». Dans cette catégorie se retrouvent notamment le *kanban*, le Statistical Process Control (SPC), le déploiement de la fonction qualité (DFQ) et les plans d'expériences. Le *kanban* étant déjà bien connu comme outil d'optimisation de la circulation des informations et de cohésion entre les postes de travail (cf. chapitre 4) et le SPC étant étudié en détail dans la prochaine section, seuls le DFQ et les plans d'expériences feront ici l'objet d'un approfondissement.

### ► Les plans d'expériences

Si la technique des plans d'expériences a été développée dans les années 20 par R. Fisher,<sup>1</sup> elle connaît aujourd'hui un regain d'intérêt dans le cadre de la qualité totale, en particulier dans le secteur industriel. Cette technique s'inscrit parfaitement dans la pratique actuelle de la qualité pour trois raisons essentielles (J. Demonsant, 2000) :

- les plans d'expériences offrent une réponse directe aux impératifs actuels de l'entreprise tant en matière de qualité, que de maîtrise des coûts ou bien encore de délais ;

1. R.A. Fisher, *The Design of Experiment*, op. cité.

- la qualité totale, tout comme les plans d'expériences, exige la remise en cause des méthodes classiques de travail ;
- les modes de pensées utilisés s'intègrent parfaitement dans une démarche de qualité totale, notamment au sein de la logique du PDCA.

Le but de cette technique est, comme pour la plupart des techniques statistiques, d'obtenir le maximum d'informations utiles pour un coût minimum. Dans le cas des plans d'expériences, l'information recherchée concerne la « *quantification de l'influence de plusieurs facteurs sur un phénomène donné*<sup>1</sup> ». L'objectif de cette quantification est de prévoir le comportement du système étudié (produit ou processus) dans différentes configurations possibles. Une fois cette prévision effectuée, l'optimisation du fonctionnement peut être envisagée. Mais, pour obtenir ce résultat, l'originalité de la technique consiste à organiser l'expérimentation de façon à minimiser le nombre d'essais, donc à minimiser le coût de réalisation de l'expérience (on comprend alors pourquoi autant d'industriels recourent aujourd'hui à cette méthode). En effet, pour obtenir un résultat fiable dans le domaine de l'expérimentation, il est souvent souhaitable de multiplier les essais. Or, la répétition des expériences s'avère fort coûteuse. Pour éviter d'avoir des résultats de mauvaise qualité, faute d'expérimentation, ou bien de bons résultats mais à un coût jugé trop élevé, le plan d'expérience propose un compromis sur la base d'une expérimentation comprenant un nombre d'essais juste nécessaire, mais susceptible de fournir un résultat fiable.

Les plans d'expériences intègrent à la démarche qualité deux impératifs prioritaires de l'entreprise moderne. Il s'agit, d'une part, de la maîtrise des coûts et, d'autre part, de la réduction des délais. En effet, si la multiplication des essais provoque une hausse des coûts, elle entraîne aussi inévitablement un allongement des délais. Le coût (respectivement la durée) d'une expérimentation est proportionnel au produit du nombre d'essais par le coût (respectivement la durée) unitaire de chaque essai. Donc, lors de la construction du plan d'expérience, il ne faut pas se contenter de minimiser le nombre d'essais, il faut aussi rechercher la réduction du coût global (respectivement de la durée globale). En effet, un gain de temps substantiel peut être obtenu dès lors que l'on substitue une réponse rapidement mesurable à une réponse mesurée après une période d'essais relativement longue.

Le gain de temps apporté par cette technique doit être estimé par rapport aux modalités traditionnelles de recherche adoptées par les chercheurs. Souvent les ingénieurs qui se heurtent à des difficultés ne trouvent d'autre solution que de poser des hypothèses concernant l'influence d'un paramètre, et de mener une campagne d'essais pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. Lors de l'examen des résultats, de nouvelles hypothèses sont posées puis testées, etc. Si cette démarche présente des avantages, elle a pour principal inconvénient d'occasionner des pertes de temps. Il est alors préférable de consacrer plus de temps à la phase préexpérimentale. Les plans d'expériences s'orientent dans cette direction. Mais ces plans présentent deux

---

1. J. Demonsant, « Plans d'expériences et qualité totale », *Forum Qualité Scientifique*, automne 2000.

avantages supplémentaires susceptibles de répondre à l'objectif de satisfaction du client. D'une part, ils permettent l'optimisation des performances moyennes d'un produit ou d'un processus. D'autre part, ils contribuent à assurer la robustesse du système. En effet, ils réduisent sa sensibilité lorsqu'il est confronté à des facteurs non prévus par le concepteur et qui risquent d'en altérer la performance<sup>1</sup>.

Une application efficace des plans d'expériences en matière de qualité totale suppose leur mise en œuvre dès la phase de conception du produit ou du procédé<sup>2</sup>. Ils assurent ainsi la détermination des valeurs retenues pour définir le produit, et permettent l'optimisation de sa robustesse et de son niveau de performance. La démarche de conception s'organise alors autour de trois étapes :

- la première étape ne concerne pas les plans d'expériences mais constitue un préalable indispensable puisqu'il s'agit de déterminer le système (les ingénieurs élaborent l'architecture générale du système et proposent ainsi une réponse concrète à la demande du marché) ;
- les deux étapes suivantes concernent directement le plan d'expérience en recherchant l'optimisation du produit au moyen de la détermination des paramètres du système puis en définissant des seuils de tolérances.

G. Taguchi suggère lors de cette démarche de conception d'utiliser des « *composants bons marché* ». Il sous-entend en fait l'utilisation de la démarche *kaizen* plutôt que le recours systématique à l'innovation, plus coûteuse.

Comme le montre le tableau 6.2, l'application des plans d'expériences permet d'illustrer la roue de la qualité de Deming (démarche PDCA). Les modes de pensées utilisés s'intègrent donc parfaitement dans une démarche de qualité totale.

### ► *Le déploiement de la fonction qualité*

La QFD ou Quality Function Deployment (Déploiement de la fonction qualité) est apparue au Japon au milieu des années 80. Il s'agit d'une méthode de travail de groupe utilisée dans les phases de conception et de fabrication des nouveaux produits. Elle permet à des acteurs issus de secteurs différents comme le marketing, la production, le design... d'analyser les attentes des clients et de proposer des réponses. La QFD se présente sous la forme de sept blocs qui représentent « *la maison de la qualité*<sup>3</sup> ». Cette maison se compose de 7 blocs (cf. figure 6.5) :

- *bloc 1 – Les attentes du client (quoi ?)* : les souhaits du client sont mentionnés et peuvent faire l'objet d'une pondération selon l'importance que le client y attache (exemple : ouverture pratique et fermeture rapide et hermétique d'un paquet de fromage râpé) ;

1. En effet, l'utilisation du produit par le client ou le consommateur ne correspond pas toujours exactement à sa destination initiale.

2. G. Taguchi, *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organisation, Tokyo, 1986.

3. G. Baglin, O. Bruel *et alii*, op. cité.

Tableau 6.2 : Application de la méthode PDCA aux plans d'expériences

PDCA	Plans d'expériences	
<i>Plan</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination du problème</li> <li>- Fixation d'un objectif</li> <li>- Définition du système</li> <li>- Définition d'une réponse</li> <li>- Choix des facteurs</li> <li>- Réalisation de la matrice d'essai</li> </ul>	
<i>Do</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Essais</li> <li>- Analyse des résultats</li> <li>- Détermination de la configuration optimale</li> </ul>	
<i>Control</i>	Écart entre solution et objectif ?	
<i>Act</i>	Écart positif - Vérification de l'applicabilité de la solution - Rapport écrit	Pas d'écart - Reformulation du problème - Nouveau PDCA - Rapport écrit

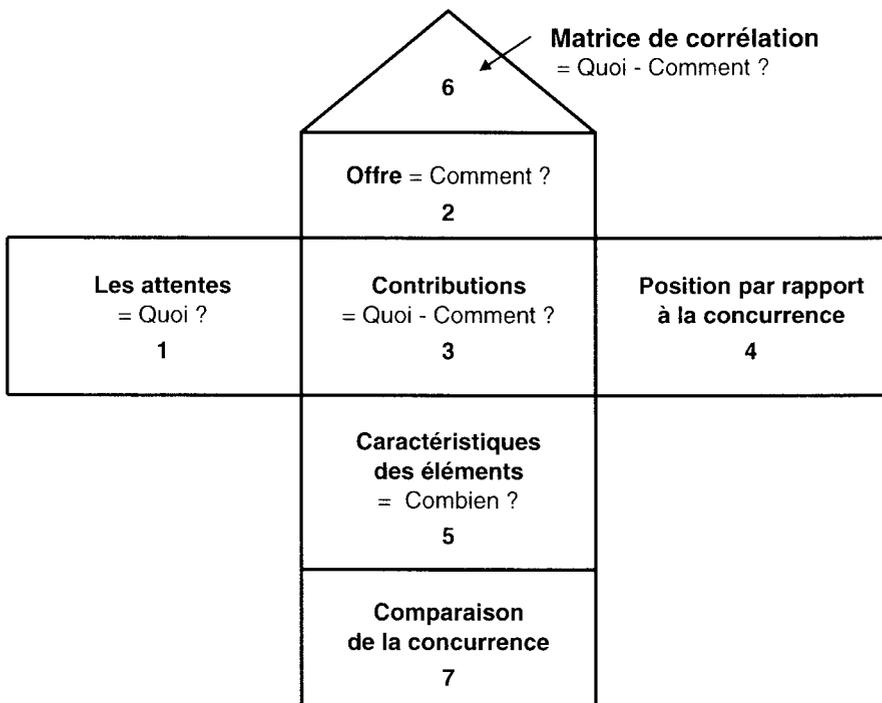


Figure 6.5 : La structure « déploiement de la fonction qualité »  
 Source : D'après G. Baglin, O. Bruel et alii, 1996.

- *bloc 2 – Les éléments de l'offre de l'entreprise (comment ?)* : dans chaque colonne est mentionnée la réponse de l'entreprise aux besoins du client (exemple : utilisation d'un système de fermeture par zip coulissant en plastique, ou d'un système autocollant) ;
- *bloc 3 – Les contributions* : dans la matrice centrale, on note les relations entre les attentes et les offres, c'est-à-dire entre les « quoi » et les « comment ». Des sigles normalisés sont utilisés pour représenter ces relations ;
- *bloc 4 – Le positionnement par rapport à la concurrence* : on situe les concurrents de l'entreprise et l'offre de l'entreprise selon les performances obtenues pour chaque attente, à partir d'une notation variant de 1 à 5 (moins bien à mieux) ;
- *bloc 5 – La mesure des réponses de l'entreprise (combien)* : ce bloc contient les mesures scientifiques et techniques correspondant aux réponses (dans l'exemple ci-dessus, une attente d'ouverture rapide du produit se traduira par un effort très faible mesuré en kg/cm) ;
- *bloc 6 – Les relations* : les relations entre les différentes réponses sont corrélées et constituent les aspects techniques (ainsi, effort de fermeture et étanchéité du produit sont corrélés positivement puisque la fermeture du paquet de fromage râpé doit assurer la conservation du fromage à l'abri de l'humidité) ;
- *bloc 7 – Comparaison technique des solutions des concurrents* : le bas du schéma représentant la maison permet de mentionner une comparaison technique des performances de la concurrence pour chacune des réponses au « comment ». Celle-ci se présente sous une forme identique à celles des réponses de la concurrence face aux attentes des clients.

Pour améliorer la performance de la méthode, on hiérarchise les différentes attentes par un système de cotation. Le marketing, le service commercial et la direction générale prennent en charge cette cotation. On se focalise alors sur les cinq attentes les plus importantes. Elles représentent la « percée qualité ».

Après avoir rempli cette première matrice, les phases de déploiement sont amorcées. Le « comment » de celle-ci va devenir le « quoi » de la matrice suivante, destinée par exemple au bureau d'études. Celui-ci procédera comme dans l'étape précédente et transmettra ses résultats au bureau des méthodes, qui réalisera sa propre matrice puis la transmettra à la production... Cette phase de déploiement est donc de nature séquentielle. Si cette séquentialité peut paraître surprenante à l'époque de la gestion concurrente de l'innovation, il faut surtout retenir de la méthode le fait qu'elle est particulièrement utile lors de la première phase, la constitution de la matrice (G. Baglin, O. Bruel *et alii*, 1996).

## 2.4 La méthode qualité

Cette *méthode qualité* est parfois nommée aussi *approche qualité*. Il s'agit « d'un ensemble de démarches raisonnées, de règles, de principes permettant d'arriver à un résultat dans un contexte précis » (J.-P. Raiche et B.-M. Bécharde, 2000).

Contrairement aux techniques étudiées ci-dessus, la méthode ne nécessite pas le recours à un algorithme rigoureux. Cependant, elle peut regrouper et structurer de façon logique un ensemble d'outils et de techniques. On retrouve ici notamment l'approche 6-Sigma et la planification *hoshin*.

### ► *L'approche 6-Sigma*

Le terme 6-Sigma ( $6\text{-}\sigma$ ) signifie que l'on s'intéresse à un intervalle de six écarts type, centré sur la moyenne, pour se concentrer sur la réduction des défauts. Dans une première acception, cette expression est purement une notion statistique, que nous approfondirons lors de la troisième section de ce chapitre. Il convient cependant d'aller au-delà de cette vision réductrice et de concevoir ici la volonté de l'entreprise d'obtenir sur plusieurs années un niveau très bas de défauts affectant l'ensemble des produits et des processus de production. Pour bien comprendre la notion, une rapide précision sur les usages statistiques s'impose. Dans l'entreprise, la non-qualité se peut se mesurer en pourcentage ou en ppm (« parties par million »). Un ppm représente une pièce défectueuse pour un million de pièces fabriquées. À titre d'exemple, un taux de défectuosité de l'ordre de 0,2 % est égal à 2 000 ppm. Aujourd'hui, cet indicateur de mesure s'applique de plus en plus aux produits et aux processus, quel que soit le secteur industriel (pharmacie, automobile, électronique...). Par exemple, dans l'industrie automobile, les constructeurs abaissent régulièrement la limite ppm imposée à leurs fournisseurs homologués. Alors qu'elle était il y a quelques années de quelques centaines de ppm, elle se situe fréquemment aujourd'hui à moins de 100 ppm ; certains constructeurs vont même jusqu'à exiger des performances de l'ordre de 30 ppm (selon G. Baglin, O. Bruel *et alii*, op. cité).

### ► *La planification hoshin*<sup>1</sup>

L'étymologie japonaise de *hoshin* suggère le reflet métallique de l'aiguille d'une boussole qui est censée diriger les unités individuelles vers le même but. Kanri signifie « plan » ou « planning ». La « Planification *Hoshin*<sup>2</sup> » se développe dans le milieu des années 60 au Japon, pour devenir l'une des principales méthodes de gestion de la qualité totale. À titre d'exemple, l'entreprise NEC Shizukoa a développé cette pratique dès 1983 dans le cadre de sa vision 2001, plan annuel et plan à moyen terme.

Le *hoshin* vise à faire partager les objectifs stratégiques définis au sommet de la hiérarchie par tous les salariés de l'entreprise. Ces objectifs forment le but à atteindre et définissent la vision qu'a l'entreprise de sa stratégie. Chacun doit contribuer avec ses propres compétences et ses ressources à leur réalisation. Les efforts convergent

1. L'ouvrage de S. Shiba, A. Graham et D. Walden (1997) propose une description particulièrement complète et précise du *hoshin*, à l'occasion du chapitre 14 intitulé « Le management Hoshin ».

2. Les synonymes sont nombreux : management hoshin ou management par la politique ou déploiement politique ou bien encore *hoshin kanri* en japonais.

vers un même but, sur la base d'une vision commune, d'où le parallèle avec l'aiguille d'une boussole.

Cela suppose de réaliser leur redistribution en cascade à chaque niveau de l'organisation (intégration verticale) et une coordination entre les services permettant de conduire une démarche de progrès par un travail interdisciplinaire (coordination horizontale). En principe, si tous les objectifs des niveaux inférieurs sont atteints, alors ceux des niveaux supérieurs le sont également. Cette planification a essentiellement trois rôles. Elle doit orienter l'ensemble du personnel, des fonctions, des tâches et des processus vers les objectifs clés de l'entreprise, dans le but de réaliser des « percées » significatives sur le plan de la qualité. Elle doit aussi adapter rapidement les objectifs et les activités de l'entreprise aux changements de l'environnement. Enfin, elle devrait inciter les cadres de l'entreprise à intégrer le cycle PDCA dans leurs activités quotidiennes.

La figure 6.6 permet de montrer combien la vision et les projets à long et moyen terme de l'entreprise sont soumis aux évolutions de l'environnement et doivent donc s'y adapter. C'est à partir des projets de moyen terme que les *hoshin* annuels sont élaborés. Ils expriment les résultats souhaités pour l'année ainsi que les moyens de les atteindre. Ils précisent aussi comment mesurer leur degré de réalisation. Chaque *hoshin* inclut donc les éléments suivants :

- les résultats visés pour l'année à venir : par exemple, il peut s'agir de l'amélioration du délai de livraison des produits ;
- les moyens à disposition : pour réduire les délais, les moyens utilisés peuvent être l'amélioration des processus de fabrication, le changement de transporteur, le développement de modalités de transport plus performantes, etc. ;
- les indicateurs de progrès : par exemple, le pourcentage de livraison dans les délais ;
- la valeur-cible pour chaque indicateur (souvent 100 %) ;
- la date limite de réalisation.

Dans une première étape, les *hoshin* annuels principaux sont diffusés en cascade dans toute l'organisation du haut de la pyramide vers le bas. Ils sont présentés sous la forme d'objectifs, puis de sous-objectifs de plus en plus détaillés. Chaque responsable propose à son niveau supérieur entre cinq et dix objectifs exprimés en unités ou grandeurs mesurables. Ces objectifs doivent être cohérents avec ceux du niveau supérieur. Les objectifs concernent l'amélioration du travail (efficacité, qualité, coûts...), la résolution de problèmes, les innovations (techniques, de management...) et/ou le développement (personnel, formation...). À côté des objectifs, les *hoshin* intègrent les moyens à disposition ainsi que les instruments de mesure. À chaque strate de la hiérarchie, les *hoshin* ont la même présentation, mais ils sont bien sûr de plus en plus précis.

Dans une deuxième étape, le contrôle, à partir de plans de mesure, est élaboré. Ce contrôle permet de suivre mensuellement la réalisation des objectifs, des sous-objectifs... Des mesures correctives doivent être décidées si la mise en œuvre des moyens

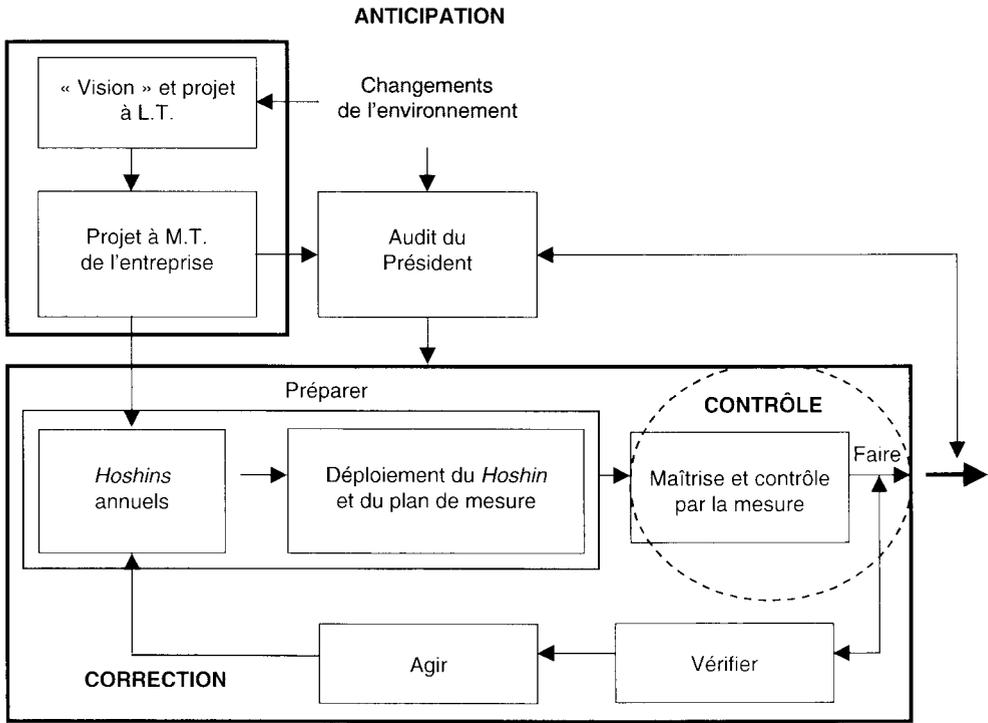


Figure 6.6 : La planification *hoshin* (Source : D'après S. Shiba, A. Graham et D. Walden, 1997.)

s'avère inefficace. Une fois les phases un et deux effectuées (les *hoshin* sont déployés et le contrôle par plan de mesure est réalisé), les plans peuvent alors être exécutés au cours d'une troisième étape.

La planification *hoshin* se trouve au cœur d'une logique de résolution de problème, organisée en trois étapes :

- l'étape « d'anticipation » est illustrée par la vision et les plans à moyen et long terme. Ces plans sont « glissants » et permettent de s'adapter aux changements de l'environnement ;
- le système de management *hoshin* est lui-même géré, évalué et amélioré ce qui correspond à l'étape de « maîtrise » ;
- quant à l'étape « corrective », elle constitue une bonne illustration de la logique du PDCA sur une durée annuelle. La phase *Plan* du PDCA concerne le développement des *hoshin* annuels du plus haut niveau, leur déploiement dans l'organisation et le développement du contrôle. La phase *Do* correspond à l'exécution des *hoshin* au cours de l'année qui s'écoule. Lorsque l'entreprise doit préparer le *hoshin* de l'année suivante, les données sur lesquelles les moyens de l'année écoulée ont été établis sont analysées (phase *Check*). On étudie aussi ce qui a été réalisé afin de proposer des améliorations pour le cycle suivant. Des mesures appropriées sont

alors décidées (phase *Act*). Pour tenir compte des toutes dernières modifications de l'environnement, le dirigeant peut aussi faire à cette occasion des propositions pour améliorer le système de management par *hoshin*.

Si la planification *hoshin* apparaît comme une méthode performante de gestion de la qualité, quelques écueils doivent être évités. Premièrement, bien que la planification *hoshin* s'inscrive dans une politique d'amélioration progressive et constante, une trop longue durée peut nuire à son bon fonctionnement. En effet, si les périodes d'évaluation et de contrôle sont trop espacées (par exemple moins d'une fois par trimestre), le désintérêt peut rapidement se faire sentir. Il se traduira par une difficulté pour les acteurs de l'entreprise à intégrer les objectifs dans leur travail quotidien, et par une surcharge lors de la période précédant le contrôle afin d'atteindre les objectifs (« bachotage »). De même, le système risque de s'enfermer dans une logique de routine aboutissant à la réduction progressive des niveaux d'exigence lors des contrôles.

Deuxièmement, les objectifs proposés doivent être à la fois ambitieux et réalisables. En effet, ils doivent être générateurs d'une dynamique de progrès sans pour autant décourager les acteurs. L'efficacité du système et sa crédibilité reposent sur la vigilance permanente des supérieurs lors de la fixation des objectifs, des contrôles et des modifications éventuelles à apporter.

Enfin, pour que cette méthode soit bien appliquée, il faut qu'elle soit bien comprise. Ainsi, il n'est pas inutile de distinguer la planification *hoshin* du management par objectif ou MBO. En effet, si le *hoshin* s'inspire des objectifs du MBO, il s'en distingue dans le sens où il est plus incitatif – par opposition à directif – et qu'il se concentre sur l'amélioration du process – par opposition à l'amélioration de la performance<sup>1</sup>. Le *hoshin* est un processus stratégique ayant des répercussions à tous les niveaux de l'entreprise. Si les objectifs sont définis par le sommet de la hiérarchie, les autres niveaux (division, filiale, section) peuvent suivre ces objectifs ou bien proposer leurs propres objectifs, à condition d'être dérivés de ceux établis par la direction. Les intervenants sont donc nombreux. Dans le MBO seuls deux acteurs sont impliqués. Il s'agit du supérieur et de son subordonné (Minh Nguyen, 2000).

## 2.5 Le concept qualité

« Le concept qualité est une abstraction, une représentation théorique et générale. De nature fondamentale, il se matérialise dans et par les méthodes techniques et outils qu'il oriente selon des grands principes qualité sur lesquels il s'appuie. » (J.P. Raiche et B.M. Bécharde, 2000). Dans cette catégorie, on retrouve le JAT. En effet, en considérant que la qualité ne constitue pas une fonction séparée des autres composantes de l'organisation de la production, mais qu'elle se présente au contraire comme une fonction transversale au caractère intégrateur pour l'ensemble des acteurs et des fonctions, on comprend aisément que la pratique de la qualité totale et

1. On trouvera sur [www.multimania.com](http://www.multimania.com) de très intéressants développements sur le sujet.

l'analyse des causes de non-qualité s'orientent naturellement vers les concepts développés dans le cadre du JAT. Si le JAT a été largement identifié lors de son apparition, d'une part, avec la méthode *kanban*, et d'autre part, avec les modalités de gestion de la qualité (Blondel, 1999), c'est sur la base de cette dernière conception qu'il s'agit de situer ici l'étude. Ainsi, une gestion cohérente et globale de la qualité s'exprime à travers de multiples facteurs tels que : les réflexions menées sur la TPM, l'implantation des postes de travail, le SMED, les cercles de qualité, l'organisation de la production tirée par l'aval... ou bien encore plus généralement sur la philosophie *kaizen* dans laquelle s'inscrit la gestion moderne des processus. De même, l'ingénierie simultanée, le partenariat fournisseur ou bien encore l'organisation apprenante sont des concepts qui contribuent largement à la mise en pratique de la qualité totale.

Section

**3**

## LES PRINCIPALES MÉTHODES STATISTIQUES AU SERVICE DU MANAGEMENT DE LA QUALITÉ

La précédente section s'est intéressée à ce que l'on pourrait appeler les outils « qualitatifs » ; à l'occasion de l'étude des plans d'expériences, elle a cependant présenté les bases de techniques complexes fondées sur des méthodes quantitatives (trop lourdes à exposer dans le détail et qui dépasserait le cadre fixé à cet ouvrage). Finalement, on s'aperçoit vite que les outils qui permettent d'améliorer la qualité dans l'entreprise sont nombreux et qu'il serait vain de vouloir tous les présenter. Nous avons délibérément choisi de ne traiter dans cette section que les principales méthodes statistiques. C'est pourquoi certains passages supposent un minimum de connaissances en statistiques et probabilités. Ces méthodes sont d'utilisation particulièrement fréquente dans les entreprises.

### 1 Les feuilles de relevé

Outil particulièrement simple, il n'en est pas moins essentiel à toute stratégie efficace d'amélioration de la qualité. C'est en quelque sorte l'outil de base, indispensable à la construction de la plupart des études statistiques ultérieures. Il existe de nombreuses catégories de feuilles de relevé. Par exemple, il peut s'agir de noter le poids d'un composant lors d'un stade intermédiaire de la fabrication, afin de vérifier ensuite si ce poids est globalement conforme aux spécifications et si ce n'est pas le cas, d'envisager des mesures correctrices. Il peut aussi s'agir d'inspecter le produit fini et de comptabiliser le nombre de produits défectueux, en distinguant les différents types de défauts (*cf.* figure 6.7). La feuille de relevé peut enfin prendre la forme d'une table de corrélation, sur laquelle chaque comptage sera inscrit à l'intersection d'une colonne et d'une ligne, et concernera ainsi deux variables que des études ultérieures jugeront plus ou moins corrélées.

Figure 6.7 : Exemple de feuille de relevé

Feuille de relevé				
Nom de l'inspecteur : M. Chaux	Produit : Four micro-ondes	N° du lot : 1875	Date : 21/10/02	Nb de produits inspectés : 700
Types de défauts	Comptage	Nombre de produits concernés	Nb de produits à réparer	
Cordon d'alimentation	### ###	10	3	
Peinture extérieure rayée	### ### ### ### III	23	17	
Vitre frontale rayée	### II	7	1	
Ouverture porte	### ### ###	15	15	
Système programmation		0	0	
Éclairage intérieur	IIII	4	4	
Autres	IIII	5	4	

La feuille de relevé peut être complétée dans l'atelier par une représentation visuelle, le *diagramme de concentration de défauts*. Le produit ou le composant faisant l'objet du contrôle est représenté avec précision, agrandi plusieurs fois sur une feuille. Chaque fois qu'un défaut apparaît, l'opérateur marque l'endroit où le défaut est apparu par un point. Au bout de quelque temps, les points faibles du produit sont perçus très nettement.

## 2 Le diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto permet d'identifier clairement les causes essentielles de la non qualité dans un processus donné, afin de s'attaquer prioritairement à ces causes, plutôt que de dissiper ses efforts dans toutes les directions à la fois. Dépenser beaucoup d'énergie et d'argent pour réduire de moitié l'importance des causes principales peut facilement se justifier. Mais les erreurs accompagnant toutes activités humaines, il serait vain et économiquement très coûteux de vouloir à tout prix supprimer la totalité des sources de défaut.

Imaginons qu'une entreprise s'intéresse à l'opération « peinture en cabine étanche ». Des analyses antérieures ont montré que la non-qualité des produits s'expliquait par la présence de 8 causes, dont une appelée « divers ». Une étude réalisée pendant le mois de septembre sur 5 000 produits montre que 319 produits défectueux ont été recensés ; parmi ces produits, les causes de la non-qualité se répartissent selon le tableau 6.3.

Tableau 6.3 : Les causes de la non-qualité

<b>Causes de la non-qualité des produits</b>	<b>Codification des causes</b>	<b>Nombre de produits défectueux</b>
Matières premières <sup>(1)</sup>	MAP	16
Présence de poussières	POU	123
Mauvais mélange <sup>(2)</sup>	MEL	21
Divers	DIV	6
Température inadaptée	TEM	85
Maladresses de l'opérateur	MDO	35
Préparation déficiente <sup>(3)</sup>	PRE	2
Mauvais réglage de pression <sup>(4)</sup>	REG	31

(1) De mauvaise qualité, éventée...

(2) Les proportions optimales ne sont pas respectées.

(3) Il s'agit de la préparation du produit, préalable à l'opération de peinture (ponçage, habillage...).

(4) La pression du pistolet est trop forte ou trop faible (elle est choisie par l'opérateur en fonction du produit à peindre).

Pour tracer le diagramme de Pareto, il est nécessaire de classer ces différentes causes, de la plus fréquente à la moins fréquente, puis de calculer les fréquences cumulées (*cf.* tableau 6.4). On pourra ainsi présenter le graphique de Pareto le plus classique, qui mêle l'histogramme des produits défectueux et la courbe des fréquences cumulées croissantes (*cf.* figure 6.8).

Tableau 6.4 : Classement des causes et calcul des fréquences

<b>Codification des causes</b>	<b>Nombre de produits défectueux</b>	<b>Fréquence des produits défectueux (%)</b>	<b>Fréquence cumulée croissante des prod. déf. (%)</b>
POU	123	38,56	38,56
TEM	85	26,65	65,20
MDO	35	10,97	76,18
REG	31	9,72	85,89
MEL	21	6,58	92,48
MAP	16	5,02	97,49
DIV	6	1,88	99,37
PRE	2	0,63	100,00
Total	319	100 %	

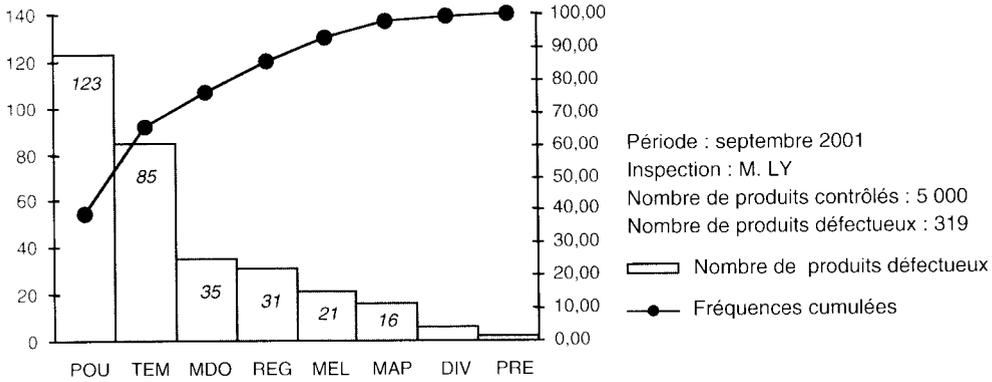


Figure 6.8 : Diagramme de Pareto – Peinture en cabine étanche

Les deux causes principales de non qualité (c'est-à-dire 25 % du nombre de causes) expliquent à elles seules 65 % des défauts. Plus la courbe des fréquences cumulées croissantes s'éloigne de la diagonale, plus la « concentration » des défauts sur quelques causes est importante et plus l'entreprise a intérêt de faire porter ses efforts sur les premières causes de non-qualité si elle souhaite obtenir des résultats conséquents.

Dans ce cas, les causes principales de la non-qualité des produits s'expliquent par des problèmes de poussières et de température. Il est d'ailleurs probable que ces deux éléments soient liés ; en effet, on peut imaginer que si l'atelier n'est pas totalement clos, des poussières pourront s'infiltrer et la température pourra ne pas être constante. Les responsables ont donc intérêt à résoudre ces problèmes en priorité, avant d'analyser la qualité des matières premières ou de revoir les proportions optimales permettant d'obtenir un mélange correct. Selon K. Ishikawa : « *L'expérience nous a montré qu'il était plus facile de réduire une grande colonne de moitié que de réduire une petite colonne à zéro.* » Ainsi, mieux vaut se concentrer sur les colonnes de gauche du diagramme.

Il convient enfin de préciser que la répétition de telles analyses est nécessaire pour visualiser les effets des actions correctrices engagées et motiver les personnels concernés. On pourra par exemple tracer un diagramme de Pareto tous les trimestres, afin de suivre régulièrement l'évolution de la fabrication et l'influence de la stratégie d'amélioration de la qualité.

### 3 Les histogrammes

Les feuilles de relevés, aussi précises soient-elles, ne facilitent pas une vision synthétique et opérationnelle, surtout lorsque le nombre de données est important. Il faut donc opérer des regroupements et des simplifications, quitte à perdre un peu

d'information à l'instar de tous modèles. L'histogramme permet notamment de condenser l'information et offre à l'analyste un outil « visuel » intéressant. Les logiciels disposent aujourd'hui de modules facilitant la création d'histogrammes.

### 3.1 Principes de base

La construction d'un histogramme est assez simple, mais ne se justifie que si le volume des données est élevé. On commence par fixer le nombre de classes, puis par déterminer l'amplitude de chaque classe (souvent en divisant l'étendue par le nombre de classes). Après avoir comptabilisé le nombre d'observations appartenant à chaque intervalle, on trace les rectangles<sup>1</sup>.

L'histogramme permet ainsi de juger facilement de :

- la *forme* de la distribution : asymétrique ou non, unimodale ou non, etc. ;
- la *nature* de la distribution étudiée : par exemple, le fait de savoir si la distribution est normale est un renseignement important ;
- la position de l'*intervalle de tolérance* ou de la *spécification* : il s'agit de visualiser les limites au dessous et au-dessus desquelles les produits seront considérés comme « mauvais », « défectueux », etc.

Considérons la fabrication de petits engrenages métalliques. En régime de croisière, l'atelier produit chaque jour environ 600 unités. Il s'agit donc d'étudier ce que l'on appelle un « processus stabilisé », c'est-à-dire un processus de fabrication doté d'une certaine permanence<sup>2</sup>. Des études antérieures particulièrement sérieuses indiquent que le diamètre de ces petites pièces suit une loi normale de moyenne 100 mm et d'écart type 3 mm. Dans l'utilisation des engrenages, il a été montré qu'une variation du diamètre supérieure à 5 mm (par valeurs inférieures ou supérieures, par rapport à la moyenne) conduisait l'utilisateur à considérer l'engrenage comme « défectueux ». Durant les 20 jours ouvrés du mois d'octobre, on procède chaque jour à un contrôle en choisissant au hasard 7 engrenages dont on mesure le diamètre à l'aide d'un pied à coulisse (cf. tableau 6.5).

Les mesures 1, 2 et 3 sont effectuées le matin, alors que les mesures 4, 5, 6 et 7 sont réalisées l'après-midi. Le fait de distinguer le matin de l'après-midi peut permettre une analyse plus fine (technique de la *stratification*) et des mesures correctives différenciées. À partir de ces informations, il est possible de bâtir trois tableaux de synthèse (cf. tableau 6.6), et donc trois histogrammes : un pour la fabrication du matin, un autre pour la production de l'après-midi et un dernier pour l'ensemble. Nous ne présenterons dans un premier temps que l'histogramme relatif à la journée entière.

---

1. Dans le cas général, la surface des rectangles doit être proportionnelle à l'effectif de la classe. Lorsque toutes les classes ont la même amplitude, la hauteur des rectangles doit être proportionnelle à l'effectif.  
2. L'environnement dans lequel il se situe, ainsi que les principales caractéristiques de ce processus n'évoluent que très lentement. Sur le plan statistique, puisque la fabrication des engrenages est quotidienne, on dira que la taille de la population est infinie.

Tableau 6.5 : Diamètre des engrenages

N° du jour Octobre	N° des mesures						
	Matin (AM)			Après-midi (PM)			
	1	2	3	4	5	6	7
1	101	101	102	99	103	101	105
2	99	99	100	101	102	98	99
3	97	101	101	100	103	105	100
4	103	102	101	99	101	95	100
5	102	98	97	101	100	100	99
6	106	101	101	100	105	102	102
7	102	98	97	99	101	104	102
8	99	100	99	106	95	100	101
9	98	101	104	101	102	98	98
10	100	99	101	100	100	100	95
11	101	93	102	104	90	100	97
12	103	100	105	100	99	104	101
13	98	103	99	98	100	100	100
14	106	103	97	102	104	101	101
15	100	99	103	101	100	99	99
16	100	98	110	94	99	108	106
17	99	102	102	105	103	102	100
18	99	101	94	100	102	102	93
19	96	96	101	99	102	106	97
20	103	100	99	93	101	100	98

Une fois que les informations sont disposées en classes, il faut procéder au calcul des paramètres ; le tableau 6.7 fournit uniquement les résultats du fait de la simplicité des techniques. Le fait de construire un histogramme provoque une perte d'informations qui se traduit par des différences dans la valeur des paramètres de tendance centrale et de dispersion. Ainsi la moyenne des 140 mesures dans le tableau initial est égale à 100,386 mm (au lieu de 100,87) et l'écart type associé est de 2,988 mm (au lieu de 3,04 mm).

Tableau 6.6 : Tableau des effectifs et des fréquences

Classes	Matin		Après-midi		Au total	
	Nombre de données	Fréq. (en %)	Nombre de données	Fréq. (en %)	Nombre de données	Fréq. (en %)
[90 , 92[	0	0,0	1	1,3	1	0,7
[92 , 94[	1	1,7	2	2,5	3	2,1
[94 , 96[	1	1,7	4	5,0	5	3,6
[96 , 98[	6	10,0	2	2,5	8	5,7
[98 , 100[	15	25,0	15	18,8	30	21,4
[100 , 102[	19	31,7	31	38,8	50	35,7
[102 , 104[	13	21,7	13	16,3	26	18,6
[104 , 106[	2	3,3	8	10,0	10	7,1
[106 , 108[	2	3,3	3	3,8	5	3,6
[108 , 110]	1	1,7	1	1,3	2	1,4
Total	60	100	80	100	140	100

Tableau 6.7 : Informations statistiques

	Matin	Après-midi	Au total
<b>Valeur maxi</b>	110	108	110
<b>Valeur mini</b>	93	90	90
<b>Étendue</b>	17	18	20
<b>Moyenne</b>	100,77	100,95	100,87
<b>Médiane*</b>	100,74	101,03	100,92
<b>Mode</b>	101	101	101
<b>Écart type</b>	2,81	3,19	3,04

\* La médiane correspond à la valeur de la variable qui partage la population en deux sous-populations d'effectifs égaux. Le calcul de la médiane s'effectue classiquement par interpolation linéaire ; par exemple :  $100,92 = 100 + (102 - 100) \times [(70 - 47)/(97 - 47)]$  où 47 et 97 sont les effectifs cumulés croissants, respectivement affectés aux classes [98 - 100[ et [100 - 102[.

### 3.2 Histogramme et spécification

À l'aide de l'avant-dernière colonne du tableau 6.6, on peut facilement tracer l'histogramme des effectifs (cf. figure 6.9). On constate que le graphique est assez symétrique par rapport à la moyenne. La fameuse courbe en cloche peut donc être ajustée à l'histogramme, rendant tout à fait intéressante l'approximation par la loi normale. D'ailleurs, nous savons que la moyenne, le mode et la médiane sont presque égaux, ce qui constitue traditionnellement la condition de passage à la loi normale.

Les informations chiffrées et le graphique peuvent nous laisser penser que la machine est légèrement dérégulée puisque la moyenne empirique est de 100,87 mm sur les 140 observations alors qu'elle est habituellement de 100 mm. La moyenne est d'ailleurs plus proche de la borne supérieure de l'intervalle de tolérance, encore appelé *spécification*. À l'occasion de ces relevés, de nombreux produits ont été déclarés défectueux : 13 en tout, soit un peu plus de 9 % des produits testés. Cela correspond à un pourcentage particulièrement élevé dans le monde industriel, où le degré d'exigence va parfois jusqu'au micron.

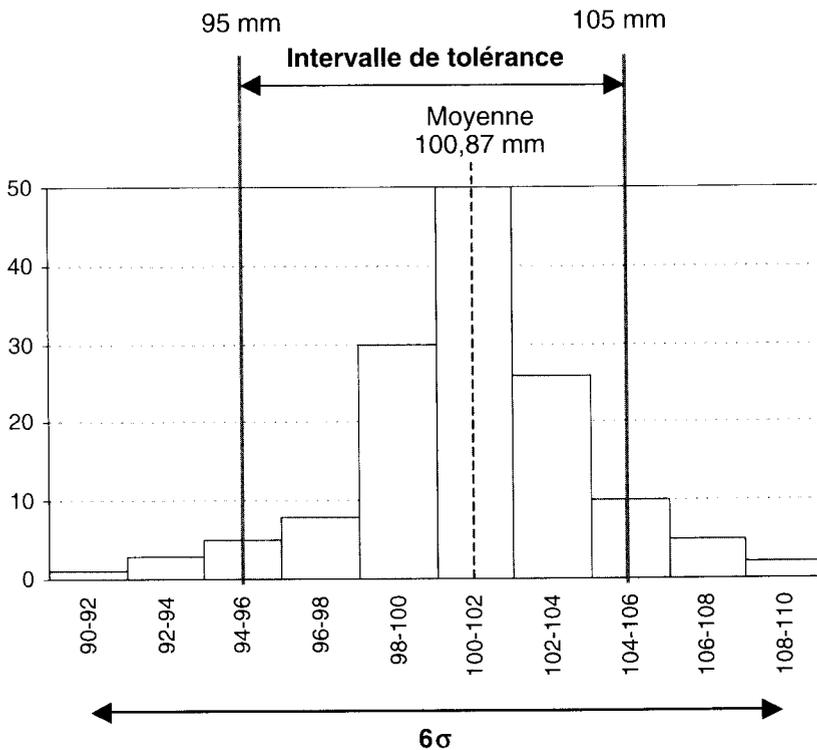


Figure 6.9 : Histogramme et intervalle de tolérance

L'histogramme constitue un moyen visuel efficace pour juger de l'efficacité d'un processus de fabrication. La dispersion de la distribution est-elle inférieure, ou supérieure à l'intervalle de tolérance ? C'est la première question à laquelle le responsable du processus doit répondre. La seconde interrogation portera sur le jugement de l'asymétrie de l'histogramme, et donc sur un éventuel dérèglement de la machine.

Ici, la dispersion est de 20 mm (110 – 90). En règle générale, dans le cas d'une variable normale, on considère que la dispersion totale est correctement approximée par 6 écarts type ( $6\sigma$ ). En effet, un intervalle de plus ou moins trois écarts type par rapport à la moyenne comprend environ 99,7 % des informations<sup>1</sup>.

Dans notre cas, la dispersion est d'environ 18 mm, car  $\sigma = 3$ . Elle dépasse les spécifications, ce qui signifie que le processus n'est pas efficace, ou n'est pas *capable*. Afin de mesurer le degré d'efficacité d'un process, les ingénieurs ont défini l'indice d'aptitude, encore appelé *indice de capabilité* :

$$C_p = \text{Intervalle de tolérance} / 6\sigma$$

Selon les spécialistes, la valeur « idéale » de ce ratio serait d'environ 4/3 et une valeur inférieure à 2/3 est dangereuse. Le processus étudié possède un indicateur d'aptitude de 0,56, ce qui est particulièrement faible. Il est nécessaire d'envisager des solutions :

- est-il possible d'être moins exigeant et d'élargir l'intervalle de tolérance ?
- peut-on réduire la dispersion du processus, par exemple, par des réglages plus fréquents ou une maintenance préventive plus poussée ?
- faut-il œuvrer dans ces deux directions à la fois ?

La seconde question, qui peut compléter l'étude précédente, consiste à mesurer l'importance du dérèglement du processus. L'éventuelle asymétrie de l'histogramme indique de quel côté le processus est dérèglé. L'indice de dérèglement noté  $C_{pk}$  est calculé de la façon suivante :

$$C_{pk} = |B - m| / 6\sigma$$

où B correspond à la borne inférieure de l'intervalle de tolérance si le dérèglement se situe à gauche de la moyenne, ou bien à la borne supérieure si le dérèglement se situe à droite de la moyenne.

Ici, B est égal à 105 mm ; rappelons que  $m = 100,87$  mm et  $\sigma = 3$  mm. On obtient une valeur de 0,46. Encore une fois, les spécialistes de la production considèrent que le  $C_{pk}$  doit être supérieur à 4/3, ce qui est loin d'être le cas dans notre illustration. Plus le  $C_{pk}$  est éloigné de l'indice de capabilité, plus cela signifie que le processus de fabrication est dérèglé. On comprend que la situation idéale corresponde à :

$$C_p = C_{pk} > 4/3$$

1. Lorsque X suit une loi normale de moyenne m et d'écart type  $\sigma$  :

$$p(m - 3\sigma < X \leq m + 3\sigma) = p(-3 < T \leq +3) = 2\pi(3) - 1 = (2 \times 0,9987) - 1 = 99,7 \%$$

où la valeur de  $\pi(3)$  est lue dans la table de la loi normale centrée réduite.

Malgré l'intérêt de disposer de tels ratios, il faut les utiliser avec prudence. Ainsi, la théorie de l'échantillonnage, fondée sur le théorème de la limite centrée, nous permet de porter un jugement sur la représentativité de l'échantillon-test des 140 contrôles. Puisque le diamètre des engrenages suit une loi normale de paramètres connus, construire un intervalle de confiance autour de la moyenne  $M = 100$  permet de montrer que les caractéristiques du processus de fabrication sont ou non « significativement<sup>1</sup> » différentes :

$$IC_{99\%} = \left[ 100 - 2,58 \frac{3}{\sqrt{140}} ; 100 + 2,58 \frac{3}{\sqrt{140}} \right] = [99,34 ; 100,65]$$

Cela signifie qu'il y a 99 % de chances que la moyenne observée appartienne à cet intervalle. Or, la moyenne de l'échantillon est égale à 100,386 mm (calculée sans perte d'information). On peut donc accepter, avec de très faibles chances de se tromper, l'hypothèse d'un échantillon représentatif de la population.

Cela relativise quelque peu les conclusions fondées sur les indicateurs d'aptitudes et de dérèglement ; pour autant ces dernières ne sont pas forcément erronées. On peut effectivement dire que face aux spécifications, l'équipement fonctionne avec une trop forte dispersion. Cependant, l'intervalle de confiance tend à montrer qu'aucun dérèglement ne s'est produit. Lorsque l'on a établi que le diamètre suivait une loi normale de moyenne 100 et d'écart type 3, la dispersion était déjà trop forte par rapport aux spécifications. Elle l'est restée lors des contrôles effectués durant le mois d'octobre, sans significativement évoluer.

En revanche, si l'on avait trouvé la même moyenne observée avec un échantillon de taille 500 (au minimum de taille 403), il aurait fallu rejeter l'hypothèse de la représentativité de l'échantillon, toujours avec une probabilité de 1 % de commettre une erreur. Nous sommes ici au cœur de ce que les statisticiens nomment « les problèmes de distribution d'échantillonnage ». Nous allons approfondir ces questions dans les paragraphes 4 et 5.

### 3.3 Histogramme et stratification

À chaque fois que c'est possible, on choisira toujours d'associer à une donnée le maximum d'informations, afin d'affiner l'analyse ultérieure. Qui a effectué le contrôle ? Quel était l'opérateur ? À quel moment a-t-on réalisé le test ? À partir de quelle machine ? Voici une série de questions qui peut conduire à résoudre plus facilement des problèmes de non-qualité. Certes, sur le plan statistique, plus les informations sont nombreuses, plus le traitement sera lourd. Il faut donc trouver un juste milieu ou disposer d'outils spécialisés.

1. En statistique, *significativement* veut dire que les différences sont à rechercher dans des changements profonds des caractéristiques de la population, et non dans les variations normales inhérentes à la constitution aléatoire de tout échantillon.

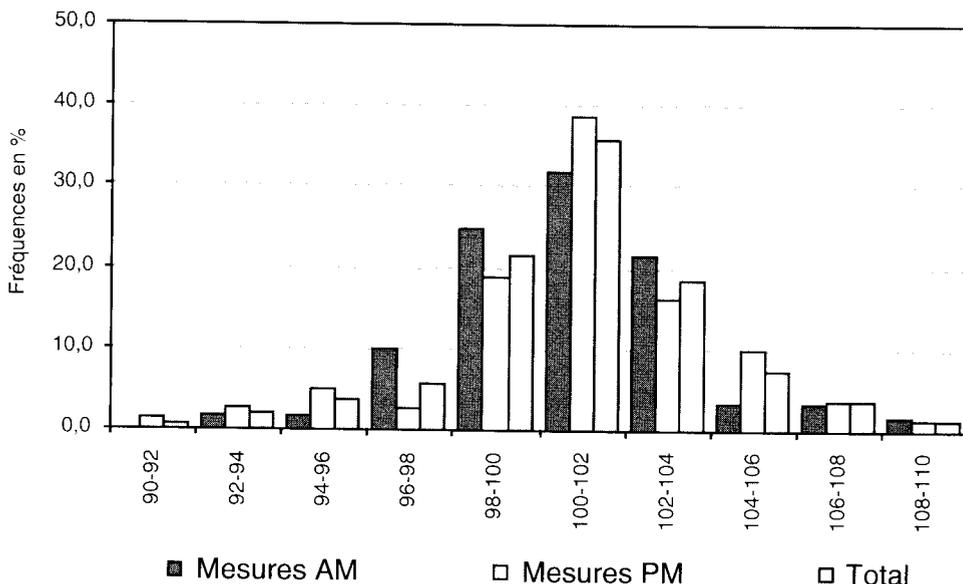


Figure 6.10 : Histogramme stratifié

Les raisonnements des paragraphes précédents peuvent donc être transposés au cas où les données seraient *stratifiées*. Globalement, l'histogramme (*cf.* figure 6.10) ne laisse pas apparaître de grandes différences entre la production du matin et celle de l'après-midi. Cependant, la moyenne (plus faible le matin) et l'indice d'aptitude (plus faible l'après-midi) peuvent laisser entrevoir une légère détérioration au cours de la journée ; mais ce n'est pas certain et d'autres études devraient venir corroborer cette idée. Cela s'expliquerait par le dérèglement, faible mais progressif, des équipements entre la fabrication du matin et celle de l'après-midi. Ce dérèglement pourrait-il être lié à des différences de températures ? La démarche d'amélioration de la qualité se poursuit dans cette direction.

#### 4 Le contrôle de la qualité des produits par acceptation

Toujours dans le cadre général des méthodes statistiques, les techniques dites *d'acceptation des produits*, fondées sur l'échantillonnage, vont notamment permettre aux partenaires (vendeur et acheteur) de définir des règles contractuelles d'acceptation ou de refus des produits. Dans la plupart des situations, contrôler la totalité d'un lot est économiquement impossible ou encore infaisable lorsque le contrôle est destructif (test de résistance au feu pour des tissus) ou susceptible d'endommager le produit (test de résistance à la pression). La décision du fabricant et/ou de l'acheteur d'accepter ou de refuser un lot repose alors sur l'exploitation statistique d'échantillons. Mais on sait que tout échantillon n'est pas nécessairement représentatif de la

population dont il est extrait. Cela signifie que tout contrôle-qualité ne permet jamais de vérifier ou d'infirmer de façon irréfutable une hypothèse.

#### 4.1 Échantillonnage et plan d'échantillonnage

L'objectif est de se déterminer le plus rationnellement possible, en minimisant le risque d'erreur. Un *plan d'échantillonnage* est un ensemble de règles de décision qui précisent :

- la taille des échantillons (notée  $N$ ) ;
- le nombre ou le pourcentage de produits autorisés par les parties contractantes à ne pas satisfaire aux spécifications.

Le vendeur et le client doivent adopter un plan d'échantillonnage permettant de réduire le coût du contrôle et les risques d'erreur. On admet logiquement qu'il existe deux risques majeurs :

- *le risque du producteur* : c'est le risque de choisir au hasard un échantillon contenant un nombre (ou un pourcentage) de produits défectueux supérieur à ce qu'il est vraiment dans le lot entier. Le risque est donc de rejeter à tort un bon lot. Ce type d'erreur est qualifié d'erreur de 1<sup>re</sup> espèce et la probabilité associée est notée  $\alpha$  ;
- *le risque du client* : c'est le risque de choisir au hasard un échantillon contenant un nombre (ou un pourcentage) de produits défectueux inférieur à ce qu'il est vraiment dans le lot entier. Le risque est donc d'accepter à tort un mauvais lot. Ce type d'erreur est qualifié d'erreur de 2<sup>e</sup> espèce et la probabilité associée est notée  $\beta$  .

Il est possible de matérialiser graphiquement un plan d'échantillonnage spécifique : on utilise une *courbe caractéristique opératoire*, encore appelée par K. Ishikawa *courbe d'efficacité*. En fonction du pourcentage de produits défectueux du lot, cette courbe indique la probabilité que le lot soit accepté par le plan d'échantillonnage. Prenons deux exemples.

Un préalable essentiel à la construction d'une courbe d'efficacité est de déterminer la nature de la variable étudiée à l'occasion du contrôle de la qualité. Le traitement statistique sera différent selon que la variable est qualitative (attribut) ou quantitative (variable mesurable).

#### 4.2 Plan d'échantillonnage dans le cadre d'une variable qualitative

Dans une entreprise, un lot de 20 000 produits doit être contrôlé avant d'être livré au client. On admettra que le plan d'échantillonnage a été élaboré conjointement par le fournisseur et l'acheteur ; il est défini par :

- la taille de l'échantillon : 200,
- la limite d'acceptation : 4 produits.

Pour construire la courbe d'efficacité, nous devons déterminer la probabilité d'acceptation d'un lot pour différentes valeurs du pourcentage réel de défauts de la population. Pour chaque produit testé, il existe deux états : « défectueux » ou

« bon ». On travaille avec la loi binomiale car la taille de la population est très grande<sup>1</sup>. Appelons  $X$  le nombre de défauts constatés dans l'échantillon. Raisonnons par étapes.

Il est trivial de dire que si le pourcentage de produits défectueux dans le lot est nul, la probabilité d'acceptation du lot est égale à 100 % ; en effet, on est certain que l'échantillon contiendra moins de 4 produits défectueux (limite d'acceptation) puisqu'on est sûr qu'il en contiendra zéro.

Posons maintenant comme hypothèse de travail que le pourcentage de produits défectueux dans le lot est de 1 %. Constituer l'échantillon revient alors à effectuer 200 tirages successifs avec remise<sup>2</sup> dans une très grande population, où la probabilité de succès<sup>3</sup>(obtenir un produit défectueux) est de 1 %. Or, on n'accepte le lot que si l'échantillon ne contient pas plus de 4 produits défectueux.

Sachant cela, quelle est la probabilité d'acceptation du lot ? Puisque  $X$  suit une loi binomiale de paramètre 200 et 0,01, on cherche  $p(X \leq 4)$  et on pose :

$$p(X \leq 4) = \sum_{k=0}^{k=4} C_{200}^k \cdot (0,01^k) \cdot (0,99^{200-k}) \approx 0,95$$

Suite à la constitution d'un échantillon aléatoire de 200 produits et sur la base de la limite d'acceptation fixée, il y a donc 95 % de chances qu'un lot comportant 1 % de produits défectueux soit accepté.

On réitère ce calcul pour une dizaine de valeurs de  $p$ , pourcentage de défauts dans le lot<sup>4</sup> ; par exemple, avec  $p = 2\%$  :

$$p(X \leq 4) = \sum_{k=0}^{k=4} C_{200}^k \cdot (0,02^k) \cdot (0,98^{200-k}) \approx 0,63$$

Soit environ 63 % de chances qu'un lot soit accepté. Le tableau 6.8 fournit suffisamment de valeurs pour tracer la courbe d'efficacité (cf. figure 6.11).

- 
1. En toute rigueur, il faudrait utiliser la loi hypergéométrique. Il serait aussi possible d'utiliser l'approximation de la loi binomiale par la loi de Poisson. En revanche, l'approximation par la loi normale est impossible du fait de la valeur des paramètres.
  2. Le fait de considérer des tirages avec remise permet de prendre la loi binomiale, donc de simplifier les calculs. De plus, lorsque la population est grande et que la taille de l'échantillon est petite par rapport à la taille de la population, la loi binomiale fournit une bonne approximation de la loi hypergéométrique.
  3. Il s'agit du vocabulaire classique utilisé lorsqu'une loi binomiale est retenue. Comme nous le constatons, le terme « succès » peut correspondre à un événement négatif.
  4. On peut utiliser calculatrices ou tableurs pour obtenir la fonction de répartition de la loi binomiale. Par exemple, avec Excel, on utilisera la formule « =LOI.BINOMIALE(L ;N ;p ;vrai) » où  $L$  est la limite d'acceptation ( $L = 4$ ), où  $N$  est la taille de l'échantillon ( $N = 200$ ) et où  $p$  est le pourcentage de défauts dans le lot. Ainsi  $\text{LOI.BINOMIALE}(4 ;200 ;0,02 ;\text{vrai}) = 0,63$ .

Tableau 6.8 : Probabilité d'acceptation d'un lot

Pourcentage de défauts	N = 200 $p(X \leq 4)$	Pourcentage de défauts	N = 200 $p(X \leq 4)$	Pourcentage de défauts	N = 200 $p(X \leq 4)$
0,0%	1,00	3,0%	0,28	6,0%	0,01
0,5%	1,00	3,5%	0,17	6,5%	0,00
1,0%	<b>0,95</b>	4,0%	<b>0,10</b>	7,0%	0,00
1,5%	0,82	4,5%	0,05	7,5%	0,00
2,0%	0,63	5,0%	0,03	8,0%	0,00
2,5%	0,44	5,5%	0,01		

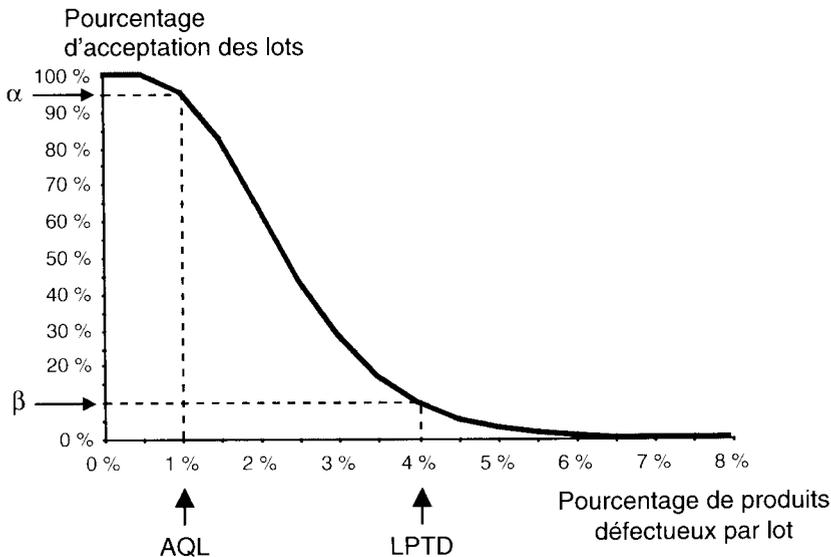


Figure 6.11 : Courbe d'efficacité

Pour qu'un plan d'échantillonnage soit complet, il faut aussi définir les niveaux de risque de type  $\alpha$  et  $\beta$ , ainsi que le niveau de qualité du lot auquel ces risques se rapportent. On définit ainsi :

- le *niveau de qualité acceptable* ou Acceptable Quality Level (AQL) : c'est le niveau de qualité d'un lot reconnu comme bon. C'est donc le pourcentage ou le nombre de produits défectueux qui peut être considéré comme satisfaisant. Il représente le niveau de qualité du lot que le producteur souhaite voir accepter avec une grande probabilité (c'est-à-dire avec la probabilité  $1 - \alpha$ ) ;
- le *pourcentage de défauts tolérés par lot* ou Lot Tolerance Percent Defective (LTPD) : c'est le niveau de qualité d'un lot reconnu comme mauvais. Il repré-

sente le niveau de qualité que le client ne souhaite accepter qu'avec une probabilité faible (c'est-à-dire avec la probabilité  $\beta$ ).

K. Ishikawa définit le niveau AQL comme « *la proportion de produits défectueux dans un lot [...] que le producteur demande aux consommateurs d'accepter, et que, pour leur part, les consommateurs trouvent raisonnable d'accepter* » et le niveau LTPD comme « *la proportion de produits défectueux dans un lot que les consommateurs voudraient rejeter comme étant de mauvaise qualité et que le producteur ne souhaite pas livrer* ».

Ainsi, les risques  $\alpha$  au niveau AQL et  $\beta$  au niveau LTPD établissent deux points qui déterminent largement quels doivent être la taille des échantillons et le seuil d'acceptation.

Imaginons, dans l'exemple précédent, que le fabricant et le client soient d'accord sur un risque  $\alpha = 5\%$  avec un AQL de  $1\%$  et un risque  $\beta = 10\%$  avec un LTPD de  $4\%$ . Quel plan d'échantillonnage choisir ? Il semble que le plan précédent, où la taille de l'échantillon est de 200 et le seuil d'acceptation est de 4 produits défectueux, permette d'obtenir des valeurs pour  $\alpha$  et  $\beta$  très proches de celles qui sont demandées. Les valeurs pour l'AQL et le LTPD sont respectivement de  $1\%$  (soit 2 produits défectueux) et  $4\%$  (soit 8 produits défectueux).

La solution n'est pas toujours aussi simple ; il faut souvent tâtonner pour trouver un plan d'échantillonnage qui puisse satisfaire les deux parties. Les logiciels fournissent encore une fois une aide considérable dans la détermination des paramètres d'un plan.

### 4.3 Plan d'échantillonnage dans le cadre d'une variable quantitative

Les plans d'échantillonnage pour les variables quantitatives supposent de mesurer les caractéristiques que l'on souhaite contrôler. Ces mesures permettent de connaître les paramètres de tendance centrale mais aussi les paramètres de dispersion, c'est pourquoi le plan d'échantillonnage peut être établi plus facilement que dans le cas précédent.

#### ► *Rappels de statistiques*

D'un point de vue statistique, le point de départ du raisonnement est *le théorème de la limite centrée* (TCL) ou théorème central-limite. Nous avons souhaité présenter ce théorème car il constitue le cœur de presque toutes les techniques statistiques de contrôle de la qualité<sup>1</sup>.

Soit  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ,  $n$  variables aléatoires indépendantes, qui suivent toutes une même loi  $L$  de moyenne  $m$  et de variance  $\sigma^2$ . Pour  $n$  suffisamment grand, la variable

1. Les quelques éléments présentés ici ne sont qu'un très bref résumé de la théorie de l'échantillonnage. Ils nous permettent de justifier « légèrement » certains résultats, qui, sans cela, auraient vraiment manqué de crédibilité. De plus, les lecteurs intéressés et souhaitant approfondir la question sauront dans quelles directions effectuer leur recherche.

$\bar{X}_n$  (distribution des moyennes d'échantillon) suit approximativement une *loi normale* de moyenne  $m$  et d'écart type  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

$$\text{avec : } \bar{X}_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Le TCL mérite quelques précisions :

- les statisticiens considèrent que  $n$  est suffisamment grand lorsque  $n$  est supérieur à 30 ;
- si  $n$  est inférieur à 30, on ne peut appliquer le TCL que si la loi  $L$  est connue ;
- si la population est elle-même normale, donc que la loi  $L$  est la loi normale, la taille de l'échantillon ne compte pas et la loi de  $\bar{X}_n$  est la loi normale (sans qu'il y ait approximation) ;
- si la variance  $\sigma^2$  de la population est inconnue, la distribution des moyennes d'échantillon aura pour écart type :  $\frac{s}{\sqrt{n-1}}$  où  $s$  est l'écart type de l'échantillon :
  - si  $n < 30$  : la loi de  $\bar{X}_n$  est alors une loi de Student à  $n - 1$  degrés de liberté ;
  - si  $n > 30$  : la loi de  $\bar{X}_n$  est alors une loi normale

### ► Détermination du plan d'échantillonnage

Bien souvent, le problème consiste à chercher la taille de l'échantillon ( $n$ ) et le seuil d'acceptabilité ( $c$ ), connaissant les risques  $\alpha$  et  $\beta$ . Les valeurs habituellement données à ces risques sont respectivement 5 % et 10 %.

Afin d'éviter une description trop théorique de la méthode, appuyons-nous sur un exemple traduisant les préoccupations des responsables de la qualité. Une firme industrielle produit des tubes d'acier dont les diamètres suivent une distribution normale, dont l'écart type<sup>1</sup> est connu  $\sigma = 10$  mm. Les expéditions de lot de tubes d'un diamètre moyen de 250 mm sont considérées comme étant de bonne qualité, et celles de 247 mm sont considérées comme étant de mauvaise qualité.

L'objectif est de déterminer un plan d'échantillonnage ( $n$  ;  $c$ ) tel que la probabilité de rejeter à tort un bon lot doit être de 5 % et celle d'accepter à tort un mauvais lot doit être de 10 %. Il est possible et intéressant de poser le problème<sup>2</sup> sous la forme d'un *test statistique* sur la moyenne (cf. tableau 6.9) :

- 
1. Fournir  $\sigma$  permet d'éviter les problèmes d'estimation. Dans la réalité, on ne connaît pas toujours l'écart type de la population.
  2. On sait d'après le TCL que la loi suivie par la distribution des moyennes d'échantillon dépend de la taille de l'échantillon (Normale, ou Student si la taille est petite) ; or, on cherche cette taille  $n$ . Dans notre exemple, on peut prendre sans crainte la loi normale car il a été précisé que le diamètre suivait une loi normale.

Tableau 6.9 : Risques et erreurs

		D É C I S I O N	
		$m > c$ $H_0$ est retenue Le lot est accepté	$m < c$ $H_1$ est retenue Le lot est rejeté
R É A L I T É	$H_0$ $M = M_0 = 250$	choix correct 95 %	choix erroné $\alpha = 5 \%$
	$H_1$ $M = M_1 = 247$	choix erroné $\beta = 10 \%$	choix correct 90 %

$m$  = moyenne de l'échantillon lorsqu'on tirera au hasard l'échantillon afin d'effectuer le contrôle.

- appelons  $H_0$  l'hypothèse la plus favorable au décideur : la population des tubes suit une loi normale de moyenne  $M_0 = 250$  et d'écart type  $\sigma_0 = 10$  ;
- appelons  $H_1$  l'hypothèse selon laquelle la population des tubes suit une loi normale de moyenne  $M_1 = 247$  et d'écart type  $\sigma_1 = 10$ .

Deux cas peuvent donc se produire :

Si l'hypothèse  $H_0$  est vraie : on peut écrire que la loi de  $\bar{X}_n$  est une loi normale de moyenne  $M_0 = 250$  et d'écart type  $\sigma_0^* = 10/\sqrt{n}$ .

On cherche donc la valeur du seuil d'acceptabilité  $c$  telle que la probabilité que la moyenne de l'échantillon soit inférieure à  $c$  soit égale à  $\alpha = 5 \%$ , c'est-à-dire :

$$p(\bar{X}_n \leq c) = 5 \% \Leftrightarrow p\left(T \leq \frac{c - 250}{\frac{10}{\sqrt{n}}}\right) = 0,05$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sqrt{n}}{10} \cdot (c - 250) = -1,645 \quad (\text{équation 1})$$

Si l'hypothèse  $H_1$  est vraie : on peut écrire que la loi de  $\bar{X}_n$  est une loi normale de moyenne  $M_1 = 247$  et d'écart type  $\sigma_1^* = 10/\sqrt{n}$ .

On cherche donc la valeur du seuil d'acceptabilité  $c$  telle que la probabilité que la moyenne de l'échantillon soit supérieure à  $c$  soit égale à  $\beta = 10 \%$ , c'est-à-dire :

$$p(\bar{X}_n \leq c) = 10 \% \Leftrightarrow p\left(T \leq \frac{c - 247}{\frac{10}{\sqrt{n}}}\right) = 0,90$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sqrt{n}}{10} \cdot (c - 247) = -1,28 \quad (\text{équation 2})$$

Résoudre le système composé des équations 1 et 2 permet de trouver  $c$  et  $n$  :

- $n = 95$ ,
- $c = 248,3$  mm.

D'un point de vue pratique, le contrôle doit porter sur un échantillon aléatoire de 95 produits. Si la moyenne des diamètres de cet échantillon est supérieure à 248,3 mm, le lot doit être accepté. Dans le cas contraire, il sera refusé. Ces éléments peuvent faire partie d'un accord entre l'entreprise et son client. Ce dernier, lors de la réception d'un lot (qui constitue la population mère) effectuera le contrôle par rapport aux normes contractuelles. Malgré le caractère scientifique de la démarche, nous savons qu'il peut être amené à commettre deux types d'erreurs.

S'il trouve que  $m$  est supérieur à la valeur contractuelle 248,3 mm :

- il y a 10 % de chance qu'il accepte, à tort, un mauvais lot (c'est-à-dire un lot dont le diamètre serait réellement de 247 mm). Le client en supportera ici toutes les conséquences, c'est pourquoi  $\beta$  est appelé risque de l'acheteur !
- il y a 95 % de chance qu'il accepte, avec raison, un bon lot.

S'il trouve que  $m$  est inférieur à la valeur contractuelle 248,3 mm :

- il y a 5 % de chance qu'il rejette, à tort, un bon lot (c'est-à-dire un lot dont le diamètre serait réellement de 250 mm). Le vendeur en supportera les conséquences puisque, même bon, ce lot lui sera retourné ; c'est pourquoi  $\alpha$  est appelé risque du producteur ;
- il y a 90 % de chance qu'il rejette, avec raison, un mauvais lot.

Pour le vendeur et pour l'acheteur, l'idéal serait de rendre les risques  $\alpha$  et  $\beta$  les plus petits possibles. Or, pour un échantillon de taille donnée, quand  $\alpha$  diminue, alors  $\beta$  augmente et inversement. Le seul moyen de les faire diminuer tout les deux, c'est d'accroître la taille de l'échantillon. Mais cela se traduit par une hausse du coût des contrôles. Il s'agit donc d'un arbitrage entre les coûts occasionnés par les contrôles et les coûts liés aux risques définis plus haut (refuser un bon lot, accepter un mauvais lot).

En conservant  $c = 248,3$  mais en augmentant la taille de l'échantillon lors du contrôle (fixée à 200 produits testés), on constate que les deux risques  $\alpha$  et  $\beta$  baissent considérablement puisque  $\alpha = 1$  % et  $\beta = 3$  % (environ).

## 5 Le process control

Alors que la technique de l'acceptation s'utilise avant ou après une opération de transformation, le *process control* s'utilise pendant la fabrication, avant que le lot entier ne soit achevé. Bien que toujours fondé sur l'échantillonnage, il revêt un caractère dynamique car il s'intéresse à l'évolution du niveau de qualité de la fabrication. Nous avons conservé le terme américain, largement employé dans les entreprises

européennes. Plus exactement, il faudrait parler de Statistical Process Control (*SPC*), traduit par « maîtrise statistique des procédés ».

## **REPÈRES : Progiciel QRMS** – **Quality Requirement Management System**

Ce progiciel a pour objectif de gérer et d'analyser les informations « qualité » liées à la production, et notamment :

- d'établir les spécifications de contrôle et de tests : sur quelles règles se baser (échantillonnage) ?
- de saisir les résultats de contrôles et de tests : comment les recueillir et les traiter ?
- de gérer la non-conformité ;
- de gérer les actions correctives.

Selon les concepteurs du progiciel, le Statistical Process Control, c'est :

- maîtriser l'ensemble des facteurs qui composent un processus ;
- assurer une qualité conforme aux spécifications ;
- chercher à améliorer une fabrication en utilisant et en interprétant les informations que l'on peut recueillir ;
- connaître les limites de variation des caractéristiques d'un produit ;
- obtenir une bonne stabilité d'une production régulière.

*Source : Pierre Marchand – ILSYS Consulting – Group IBS*

Le principal outil du SPC est le diagramme de contrôle ou carte de contrôle. Ce dernier va permettre de suivre l'évolution de la fabrication, souvent au fil des jours, permettant aux responsables ou aux opérateurs d'engager les actions correctrices dès qu'elles sont nécessaires (et non lors de la fin d'un lot volumineux). Ainsi, lorsqu'un lot de produits est usiné, par exemple dans le cadre d'un OF (ordre de fabrication, *cf.* chapitre 2), l'opérateur peut éditer des rapports de non-conformité et coller des étiquettes de non-conformité sur les produits concernés. En même temps, il alimente en données le logiciel chargé du SPC ou plus simplement, met à jour le graphique affiché sur un panneau spécialement dédié à la qualité dans l'atelier.

Reprenons le cas de la fabrication des engrenages, dont nous savons que le diamètre suit une loi normale de moyenne 100 mm et d'écart type 3 mm. Considérons qu'il s'agit chaque jour de constituer un échantillon aléatoire de taille  $n = 7$  afin de suivre avec précision l'évolution du processus de fabrication et de le garder « sous contrôle ». Calculons la moyenne et l'étendue de ces 20 échantillons (*cf.* tableau 6.10).

Sur un graphique où le temps sera en abscisse, on placera en ordonnée la moyenne de chaque échantillon (*cf.* figures 6.12 et 6.13). Cette représentation *dynamique* nous fournit déjà des informations intéressantes sur l'évolution des caractéristiques

Tableau 6.10 : Échantillons aléatoires et process control

N° du jour	Échantillons de taille n = 7							Moyenne	Étendue
	1	2	3	4	5	6	7		
1	101	101	102	99	103	101	105	101,71	6
2	99	99	100	101	102	98	99	99,71	4
3	97	101	101	100	103	105	100	101,00	8
4	103	102	101	99	101	95	100	100,14	8
5	102	98	97	101	100	100	99	99,57	5
6	106	101	101	100	105	102	102	102,43	6
7	102	98	97	99	101	104	102	100,43	7
8	99	100	99	106	95	100	101	100,00	11
9	98	101	104	101	102	98	98	100,29	6
10	100	99	101	100	100	100	95	99,29	6
11	101	93	102	104	90	100	97	98,14	14
12	103	100	105	100	99	104	101	101,71	6
13	98	103	99	98	100	100	100	99,71	5
14	106	103	97	102	104	101	101	102,00	9
15	100	99	103	101	100	99	99	100,14	4
16	100	98	110	94	99	108	106	102,14	16
17	99	102	102	105	103	102	100	101,86	6
18	99	101	94	100	102	102	93	98,71	9
19	96	96	101	99	102	106	97	99,57	10
20	103	100	99	93	101	100	98	99,14	10

de la fabrication, informations que l'analyse statistique utilisant l'histogramme ne permettait pas d'obtenir.

Mais la visualisation de cette succession de points est insuffisante. Il faut à présent déterminer et tracer les *limites de contrôle*, encore appelées *lignes de contrôle* (LC) qui permettront la mise en évidence des situations anormales (dérèglement de la machine), dépassant le cadre de la simple variation due au caractère aléatoire de l'échantillon. Il existe deux méthodes pour obtenir ces limites.

### 5.1 Limites de contrôle et écart type

Sur la base du théorème de la limite centrée et puisque la variable suit une loi normale, on sait que lorsque l'on tire au hasard un échantillon de 7 engrenages, sa moyenne aura 99,7 % de chance d'être comprise entre une limite inférieure notée

$LC_1$  et une limite supérieure notée  $LC_S$  formant un intervalle dont l'amplitude est de 6 écarts types (cf. la figure 6.12 sur laquelle les  $6\sigma$  sont mis en évidence) :

$$LC_1 = 100 - 3\frac{3}{\sqrt{7}} = 96,6 \text{ mm} \quad LC_S = 100 + 3\frac{3}{\sqrt{7}} = 103,4 \text{ mm}$$

Tout point situé en dehors des limites de contrôle est dans une zone appelée *zone d'intervention* : il indique avec une quasi-certitude un dérèglement de la machine. En effet, il y a 3 chances sur 1 000 (complément à 1 de 99,7 %) pour que l'échantillon des 7 engrenages présente un diamètre moyen inférieur à 96,6 mm ou supérieur à 103,4 mm lorsque la machine fonctionne convenablement. Il est nécessaire d'arrêter la fabrication afin d'effectuer les réglages et modifications nécessaires.

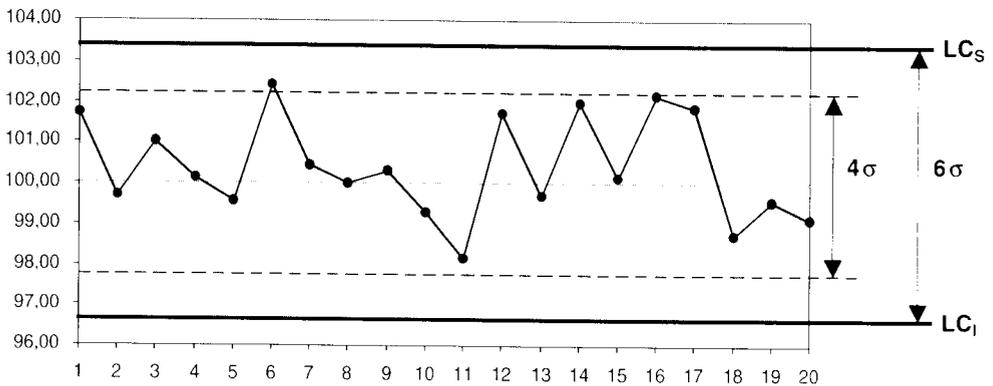


Figure 6.12 : Carte de contrôle de la moyenne – Utilisation de l'écart type

Afin d'éviter les mauvaises surprises, certaines entreprises mettent aussi en place des *limites de surveillance* (LS). Il s'agit d'un intervalle plus réduit de  $4\sigma$  (au lieu des  $6\sigma$  habituels dans le cadre des limites de contrôle). Un point situé entre les limites de surveillance et de contrôle constitue un avertissement.

## REPÈRES : Consumer Driven 6-Sigma

Ce programme, qui s'inscrit dans la stratégie d'amélioration de la satisfaction client, va concerner tous les secteurs d'activités de Ford dans le monde. *Consumer Driven 6- $\sigma$*  repose sur des mesures scientifiques très pointues, permettant de calculer les variations enregistrées dans l'application des procédures de travail. Après analyse et mise en place de mesures correctives, il doit se matérialiser par une tendance vers le « zéro défaut ». Selon le responsable de ce projet sur le site d'Estrées-Saint-Denis, « Avec ces nouveaux outils statistiques, et la participation indispensable du personnel, notre objectif est de réduire de moitié le nombre de défauts (lors du picking) et le coût de non qualité associé. » Dès le mois de décembre 2000, le taux d'erreurs dans les livraisons était descendu à 0,086 %.

Source : Forum, n° 38, fév.-mars-avril 2001.

### 5.2 Limites de contrôle et étendue

Au sein des entreprises, cette seconde méthode est d'usage encore plus fréquent. Le raisonnement de base est identique ; seule la façon de calculer les limites de contrôle change : on utilise l'étendue moyenne à la place de l'écart type. Cette méthode fait appel à des coefficients préalablement calculés, fonction de la taille des échantillons considérés. Le tableau 6.11 présente un extrait de la table des coefficients<sup>1</sup>.

Tableau 6.11 : Table des coefficients

Taille de l'échantillon n	A <sub>n</sub>	B <sub>n</sub>	C <sub>n</sub>
2	1,880	0,000	3,267
3	1,023	0,000	2,575
4	0,729	0,000	2,282
5	0,577	0,000	2,115
6	0,483	0,000	2,004
<b>7</b>	<b>0,419</b>	<b>0,076</b>	<b>1,924</b>
8	0,373	0,136	1,864

À partir du tableau 6.10, on commence par calculer la moyenne des 20 moyennes (notée  $M_{20} = 100,386$  mm) et la moyenne des 20 étendues (notée  $E_{20} = 7,8$  mm). Puis on détermine les limites de contrôle, centrées sur la moyenne  $M_{20}$ , à l'aide des formules suivantes, que nous demanderons au lecteur de bien vouloir admettre :

1. Elle est notamment disponible dans le *Manual on Quality Control of Materials*, publié par l'*American Society for Testing Materials*, Philadelphie, 1951.

$$- LC_I = M_{20} - (A_7 \times E_{20}) = 97,12 \text{ mm},$$

$$- LC_S = M_{20} + (A_7 \times E_{20}) = 103,65 \text{ mm}.$$

On constate, et c'est une règle générale, que ces valeurs sont assez proches des valeurs trouvées à l'aide de la méthode des  $6\sigma$  étudiée dans le paragraphe précédent. La figure 6.13 présente le graphique de contrôle :

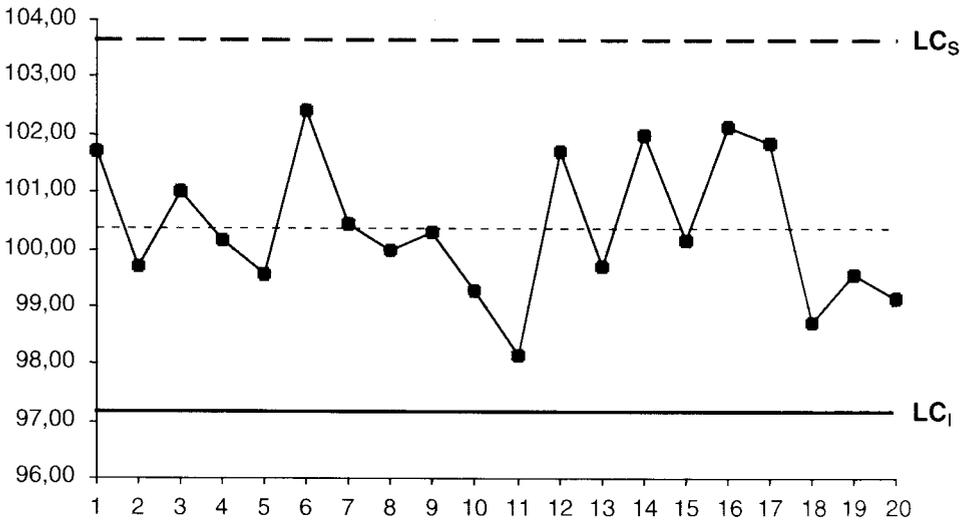


Figure 6.13 : Carte de contrôle de la moyenne – Utilisation de l'étendue

### 5.3 Autres graphiques de contrôle

Il est possible de construire des graphiques de contrôle pour l'étendue ou pour des proportions<sup>1</sup>. Dans ce cas, les formules permettant de calculer les limites de contrôle sont les suivantes ( $n$  est la taille des échantillons et  $N$  le nombre d'échantillons).

#### ► Graphiques de contrôle pour l'étendue

Les valeurs à suivre sur l'axe du temps sont les  $N$  étendues, calculées à partir des  $N$  échantillons ; les limites de contrôle sont obtenues à l'aide des formules suivantes, que l'on admettra et qui utilisent les coefficients  $B_n$  et  $C_n$  du tableau 6.11 :

$$- LC_I = B_n \times E_N ;$$

$$- LC_S = C_n \times E_N.$$

1. Sur les différents types de graphiques de contrôle, et plus globalement sur le *process control*, l'ouvrage de K. Ishikawa est particulièrement complet et riche d'enseignements (1996).

Appliquées à l'exemple précédent, cela donne :

- $LC_1 = 0,076 \times 7,8 = 0,593$  ;
- $LC_S = 1,924 \times 7,8 = 15,007$ .

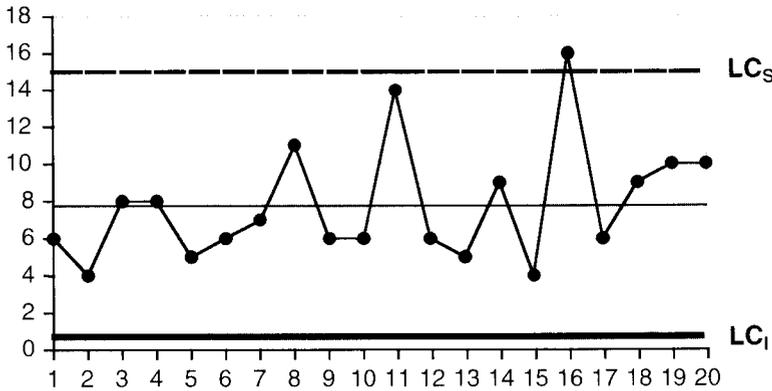


Figure 6.14 : Carte de contrôle de l'étendue

Ce graphique complète généralement celui de la figure 6.13 ; il est souvent aligné sous le précédent et permet d'affiner les analyses. Puisque l'étendue correspond à la différence entre la valeur la plus forte et la valeur la plus faible d'une série de données, il met par exemple en évidence les échantillons contenant des valeurs excessives, qui peuvent marquer le début d'une *dérive* du procédé de fabrication contrôlé.

On constate que les deux points associés aux jours n° 11 et n° 16 correspondent effectivement à une situation où la valeur de la variable est la plus faible (parmi les 140 mesures : 90 pour le jour n° 11) et où elle est la plus forte (parmi les 140 mesures : 110 pour le jour n° 16). Cependant, l'opérateur n'a pas lieu de s'inquiéter outre mesure car le graphique de contrôle de la moyenne ne repère pas d'anomalie pour ces deux jours.

► **Graphiques de contrôle pour des proportions**

Dans ce cas, les valeurs à suivre chronologiquement sont les N proportions de produits défectueux, calculées à partir des N échantillons ; les limites de contrôle utilisent ici l'écart type  $\sigma$  :

$$LC_1 = p - 3\sigma \quad LC_S = p + 3\sigma$$

avec :

$$\sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

où  $p$  correspond à la proportion de produits défectueux, par rapport au nombre total de produits examinés ; or, puisqu'on teste  $N$  échantillons chacun composé de  $n$  produits, la valeur de  $p$  est le ratio : nombre total de produits défectueux divisé par  $N \times n$ .

Un exercice illustrera ce dernier point.

Les méthodes que nous venons de présenter, même si certaines peuvent apparaître plus proches de la statistique que de la qualité, sont *très fréquemment* utilisées dans la plupart des entreprises industrielles mettant en œuvre un contrôle qualité. Elles nécessitent quelques connaissances et compétences en statistiques et en probabilités, que cet ouvrage ne peut que partiellement offrir. C'est pourquoi nous conseillons aux lecteurs qui désireraient approfondir ces questions de faire un détour par les ouvrages de statistiques appliquées à la gestion présentés dans la bibliographie.

Malgré l'importance des outils quantitatifs au sein d'une démarche d'amélioration de la qualité, nous souhaitons cependant conclure cette section sur le fait que ces outils ne constituent qu'un maillon d'un ensemble plus vaste, que les sections 1 et 2 ont largement présenté. Comptabiliser, tracer des histogrammes, établir des plans d'échantillonnage ou effectuer du *process control* n'est que le point de départ de la démarche qualité et non une fin en soi. Une fois que l'on sait, lorsque la non-qualité est avérée, le plus dur reste à faire. L'entreprise doit identifier les causes, trouver les solutions et les mettre en application.

Section

4

## QUALITÉ ET CERTIFICATION DE L'ENTREPRISE : DE L'ASSURANCE QUALITÉ AU MANAGEMENT TOTAL DE LA QUALITÉ

Si l'on peut assimiler les outils précédemment présentés à des outils d'inspection et de contrôle de la qualité, la certification d'entreprise relève d'une conception différente et plus élaborée de la qualité. En effet, avec les outils traditionnels, le contrôle de la non-conformité est effectué a posteriori ou pendant la fabrication d'un lot, presque toujours dans le cadre d'une logique de nature *corrective*. L'idée de base repose sur un constat statistique simple : l'impossibilité de reproduire de façon identique un travail de production. Les techniques statistiques et probabilistes développées permettent alors de fixer cette variation de production dans une fourchette acceptable (niveau de qualité acceptable).

Si la certification de l'entreprise sur la base de la norme ISO relève d'une démarche complémentaire à la précédente, elle n'en est pas moins différente car de nature *préventive*. En effet, elle vise pour l'entreprise et le client à anticiper la qualité sur la base d'un contrat implicite. Au sein même de cette logique, on note une évolution notable en faveur de l'intégration. En effet, si la certification par la normalisation

constitue par nature une *source d'intégration* des modalités de gestion de la qualité (normes ISO de 1994), leur nouvelle version (ISO 9000 : 2000) accentue fortement cette tendance. Elle situe en effet la *gestion des processus* au cœur du système de management de la qualité.

## 1 L'émergence des normes et leur intérêt

### 1.1 Historique et définitions

En France, G. Darmais fut un des premiers défenseurs du management de la qualité. En 1952, il crée l'Institut statistique de l'université de Paris et ses élèves fondent en 1957 l'Association française pour le contrôle industriel de la qualité (AFCIQ). La même année, la première conférence annuelle de l'European Organization for Quality Control a lieu à Paris. L'AFCIQ en France et l'American Society for Quality Control (ASQC) aux États-Unis participent largement à la diffusion du management de la qualité et à l'ébauche de normes internationales. Celles-ci seront éditées pour la première fois en 1987 sous l'égide de l'International Standard Organization (ISO) créée dès 1947.

D'un point de vue conceptuel, la *norme* résulte d'un processus relativement complexe impliquant trois dimensions : une intégration de nature technique, une optimisation économique et enfin une adhésion de l'ensemble des personnes concernées. Elle peut se définir comme « *une spécification technique ou (un) autre document accessible au public, établi avec la coopération et le consensus ou l'approbation générale de toutes les parties intéressées, fondé sur les résultats conjugués de la science, de la technologie et de l'expérience, visant à l'avantage optimal de la communauté dans son ensemble et approuvé par un organisme qualifié sur le plan national, régional ou international* », (selon la Commission économique pour l'Europe des Nations unies et l'International Standard Organization for Standardization).

La norme n'a pas de fin en soi. Elle est au service de l'objectif de *certification* qui permet de garantir – par l'intervention d'un organisme tiers – la compétence d'un professionnel, la conformité d'un produit, d'un service ou d'une organisation, sur la base d'un référentiel normatif préétabli. La norme sert de base à deux types de certification.

La certification de produits ou de services : elle atteste que les caractéristiques d'un bien ou d'une prestation sont conformes aux spécifications techniques qui apparaissent sous la forme de normes. Ce type de certificat concerne la réglementation de la sécurité, l'aptitude à l'emploi et la qualité sélective. C'est par exemple le cas de la norme européenne CE.

La certification d'entreprise : elle atteste la conformité du système qualité de l'entreprise à un référentiel normatif. La série des normes internationales ISO 9000 relative au management de la qualité est un exemple de référentiel. On qualifie

d'« accréditation » la procédure par laquelle un organisme reconnaît la compétence d'une entreprise ou d'un individu pour effectuer des tâches spécifiques.

En France, l'organisme d'accréditation dans le domaine du management de la qualité est l'AFNOR (Association française de normalisation). Au niveau international, c'est l'ISO. Le rôle de l'AFNOR est d'accréditer (d'approuver) un organisme de certification tel que l'AFAQ (Association française pour l'assurance qualité), en reconnaissant sa compétence en matière de certification de systèmes de management de la qualité. Cependant, le rôle premier de l'AFNOR – ou de l'ISO – n'est pas de délivrer des certificats après avoir pratiqué des contrôles de conformité mais d'élaborer des normes internationales.

L'AFAQ, créée en juillet 1988, délivre le certificat de conformité à la norme ISO 9000. Cette norme est parmi les 13 000 normes publiées par l'ISO l'une des plus connues. Elle constitue une référence internationale en matière d'exigence de la qualité dans les échanges. Les normes ISO 9000 sont à la base d'environ 350 000 systèmes certifiés de management de la qualité<sup>1</sup>, dans des organisations appartenant au secteur privé comme au secteur public, et ce dans plus de 150 pays. La répartition des certificats AFAQ par effectif dans les entreprises en septembre 2000 met en avant la prédominance de la certification de systèmes de management de la qualité par les PME/PMI françaises. Ceci s'explique au niveau national par l'évolution du tissu industriel et par la volonté manifeste des entreprises – même de petite taille – de maîtriser le processus de management de la qualité.

## 1.2 Objectifs et enjeux des normes

Une enquête de 1999 relative aux principales motivations des entreprises engageant une démarche de certification avec le groupe AFAQ montre que près de 50 % des responsables d'entreprises recherchent dans la certification l'obtention d'un « *avantage concurrentiel* » (argument commercial et position à l'export). L'initiative de la démarche de certification est très rarement motivée par la demande du client. L'enquête donne en effet les résultats suivants<sup>2</sup> :

- argument commercial : 31 %,
- politique du groupe : 20 %,
- intérêt d'un regard extérieur sur l'entreprise : 18 %,
- diminution du nombre d'audits clients : 15 %,
- position à l'export : 13 %,
- demande clients : 3 %.

L'aspect *commercial* peut se résumer en trois grandes catégories d'avantages. Tout d'abord la certification est un élément de marketing permettant de promouvoir ses

---

1. On trouvera de nombreuses informations complémentaires sur le site : [www.iso.ch/pressfr/](http://www.iso.ch/pressfr/).

2. On pourra fort utilement se référer au site de l'AFAQ : [www.afaq.fr](http://www.afaq.fr).

produits en mettant en avant la qualité, les délais... Tout en permettant d'acquérir la confiance des clients, elle assure aussi la diminution des retours clients. Cette confiance des clients résulte notamment du fait que la normalisation répond aujourd'hui particulièrement bien à l'impératif de « traçabilité » des produits et des process. Grâce à la connaissance de tous les paramètres d'un processus et grâce à la maîtrise de son parcours dans le temps, il devient alors possible d'identifier l'étape précise où une défaillance peut avoir lieu ou a eu lieu afin d'y remédier. Sur le plan international, la certification constitue aussi un avantage concurrentiel. Elle permet le référencement rapide de l'entreprise sur la base de critères communs et connus de tous et joue un rôle majeur dans les négociations contractuelles. Elle exerce donc un effet de levier à l'exportation. Enfin, le contexte stratégique actuel qui se manifeste par des stratégies de partenariats client-fournisseur suppose l'élaboration de critères de sélection. La certification en constitue un d'importance.

Si l'aspect commercial constitue un élément important, cette seule conception apparaît assez réductrice. Parallèlement à cet aspect, le management total de la qualité par la normalisation laisse entrevoir un deuxième *enjeu de nature technologique*. L'approche systémique de la qualité, avec, au cœur de cette démarche, la gestion des processus (voir notamment les nouvelles normes ISO 9000, version 2000), démontre qu'il ne suffit plus d'obtenir la qualité de façon séquentielle ou agrégée. La nouvelle logique de gestion de l'innovation suppose *la mise en pratique de démarches de gestion de nature transversales et collectives*. Elle doit résulter d'une parfaite maîtrise du processus technologique dans son ensemble. Cela suppose une grande rigueur dans la gestion des interconnexions entre fonctions en interne, et au niveau interorganisationnel dans le cadre d'une stratégie d'externalisation de la recherche par exemple. Les exigences du consommateur doivent être aussi intégrées au processus de gestion de l'innovation. C'est donc la dynamique de l'innovation elle-même qui se voit largement affectée par le processus de certification de l'organisation. L'entreprise devient une organisation apprenante susceptible de dégager un nouvel avantage concurrentiel lié à la gestion de l'innovation.

D'un point de vue *organisationnel*, la certification est aussi facteur d'efficacité. Elle impose l'existence d'un système qualité que l'on peut assimiler à une organisation permanente et normalisée de la qualité. La certification implique une refonte de l'entreprise par la redéfinition de ses processus et la révision des méthodes employées. Tous les dysfonctionnements doivent apparaître afin de pouvoir rédiger un guide de management de la qualité. La norme incite l'entreprise à mettre en œuvre une *démarche permanente d'amélioration* de la qualité qui s'oriente vers trois directions :

- la maîtrise de la qualité des produits à travers des actions correctives conduisant à la suppression des différentes causes de non-conformité du produit,
- l'élaboration de procédures de gestion de la qualité,
- la mise en place de l'ensemble du système qualité.

Le *reengineering* qui se situe dans la continuité de la recherche de la qualité totale participe aussi de cette remise à plat de l'organisation. Plus concrètement, cette

démarche d'amélioration continue de la qualité s'illustre dans le fait que les protocoles de l'ISO imposent un réexamen périodique des normes. Les développements technologiques et commerciaux justifient en effet que toutes les normes soient examinées au moins tous les cinq ans. L'objectif poursuivi est de confirmer les normes, de les réviser, ou de les supprimer. La dernière révision remonte au 15 décembre 2000, date à laquelle les normes ISO 9000 : 2000 sont officiellement publiées par l'ISO. Elles se substituent aux normes ISO 9000 de 1994. Cette révision, orchestrée par le Comité technique ISO/TC 176, constitue le remaniement le plus profond depuis leur première publication (1987).

Enfin, la normalisation constitue un *enjeu managerial* en permettant de combler les insuffisances liées aux initiatives individuelles des entreprises en matière de gestion de la qualité. La mobilisation de la direction de l'organisation constitue un facteur clé de succès de la certification. Au-delà de l'implication de la direction, celle du personnel passe par l'harmonisation des procédures de travail à travers de grandes lignes directrices qui constituent la base d'un système qualité. La rédaction de ces procédures facilite le décloisonnement de l'organisation. Elle permet aussi de préserver le savoir-faire de l'organisation et de développer l'apprentissage organisationnel.

La détention de ces différents avantages concurrentiels de nature commerciale, technologique, organisationnelle et manageriale repose en fait sur la capacité de l'entreprise à maîtriser le processus d'assurance qualité autorisé par les normes.

### 1.3 Les principaux outils

#### ► *Le référentiel normatif*

L'ensemble des exigences auxquelles un système d'assurance qualité doit répondre afin de satisfaire les attentes des consommateurs et/ou celle d'un organisme de certification est regroupée dans un texte appelé « référentiel ». À titre d'exemple, la norme ISO 9004 version 2000 constitue un référentiel (avant la réforme de l'an 2000, c'était le cas de l'ISO 9000). Les informations figurant dans le référentiel portent sur les moyens à mettre en œuvre, mais ces moyens se veulent plus incitatifs que directs. En effet, ils sont exprimés sous la forme de finalités, ce qui sous-entend que n'existent pas de conditions précises d'application ou de procédures types à suivre. Il est de la responsabilité de chaque entreprise de s'adapter à ces exigences à l'aide des supports techniques, organisationnels... qu'elle juge utile. Des critères d'efficacité et des « règles de bonne conduite » découlent de ces référentiels. Ils expriment la *stratégie normative* de l'entreprise et doivent être approuvés par la direction de l'entreprise. Mais si la crédibilité du référentiel implique l'approbation de la direction, ce sont tous les services de l'entreprise qui sont concernés. La normalisation visant à l'instauration d'un système d'assurance qualité par l'entreprise est en effet à la base du processus d'intégration de l'organisation et de son fonctionnement.

### ► *Le manuel qualité et le système documentaire*

La mise en place de procédures de gestion de la qualité suppose un effort de formalisation de la démarche qualité et du cadre dans lequel elle s'inscrit. Cet effort se traduit notamment par la rédaction de documents concernant la structure de l'organisation et son fonctionnement, la répartition des tâches, les modalités de réalisation des opérations, etc.

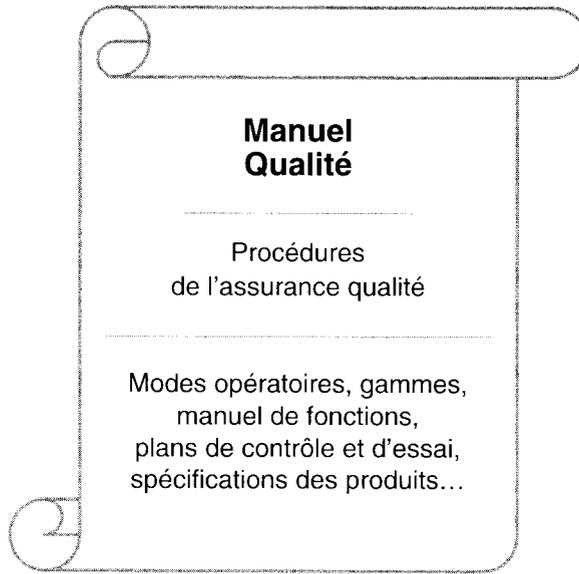


Figure 6.15 : Architecture du système documentaire

Ces principales informations sont regroupées dans le *manuel qualité* de l'entreprise dont l'objectif est de décrire les dispositions générales prises par l'entreprise pour obtenir la qualité de ses produits ou services. C'est une œuvre collective et approuvée par la direction. Elle permet d'informer en interne le personnel sur l'organisation d'ensemble de l'activité et sur la politique qualité de l'entreprise. Parallèlement à sa vocation interne, il est souhaitable que le manuel qualité assure aussi une mission d'information externe auprès des clients. Il doit alors préciser les mesures adoptées pour assurer la qualité des produits ou des services fournis.

Selon Feigenbaum, « *le manuel qualité doit être essentiellement une carte routière, un plan qui permet de s'orienter et qui indique aussi bien les raccourcis que les routes principales* ». Ce manuel qualité fait partie du système documentaire de l'entreprise qui contient l'ensemble des éléments, des exigences et des dispositions adoptés par l'entreprise pour assurer la gestion de son système qualité. L'architecture du système documentaire peut être représentée par la figure 6.15.

### ► *L'audit qualité*

Si le succès d'une démarche d'assurance qualité repose sur la mise en place de procédures, il suppose aussi des possibilités de contrôle de ces procédures. Les *audits qualité* répondent à cet impératif de vérification en validant les documents mis en place pour le système qualité (manuel qualité notamment). Un audit qualité se définit comme un « *examen méthodique et indépendant en vue de déterminer si les activités et les résultats relatifs à la qualité satisfont aux dispositions préétablies et si ces dispositions sont mises en œuvre de façon effective et sont aptes à atteindre les objectifs* » (ISO 8402, version 1994). L'audit peut être réalisé par des auditeurs appartenant à l'entreprise ou bien extérieurs (cabinet spécialisé). Ils doivent être de toute façon indépendants et procéder à l'analyse de façon objective. Le contexte dans lequel l'audit s'effectue peut être interne à l'entreprise ou bien externe. Dans le premier cas, la direction peut exiger la réalisation d'un audit afin de vérifier la mise en œuvre effective des dispositions relatives à la qualité et estimer les écarts entre réalisations et objectifs fixés. Dans le second cas, l'audit résulte d'une demande des clients et/ou des fournisseurs. Il est élaboré en vue de la réalisation d'un contrat. Il sert aussi à vérifier le degré d'application des dispositions d'assurance qualité initialement prévues.

## 2 Les normes ISO 9000 version 1994 : l'assurance qualité

Afin de bien appréhender le contenu et la finalité des normes ISO 9000 actuelles (version 2000), il est important de connaître leurs fondements. Pour cela un examen des normes précédentes (ISO 9000 version 1994) s'impose comme un préalable. Cet examen se justifie d'autant plus que les entreprises disposent d'un délai de trois ans, à compter de la date de publication des nouvelles normes, pour se mettre en conformité.

Les normes concernant la gestion de la qualité dans l'entreprise, son organisation, ainsi que les processus d'assurance qualité sont regroupés dans une catégorie bien connue appelée « norme ISO 9000 ». Le management de l'entreprise tout entière se trouve ici concerné. En effet, la fonction des normes ne se limite pas à la spécification du produit mais s'étend aussi au process.

### 2.1 Assurance qualité et management de la qualité : le référentiel ISO 9000 version 1994

#### ► *Présentation des normes*

L'homogénéisation des procédures de gestion et de contrôle de la qualité initiée en 1987 sur la base des normes ISO 9000 a connu une révision en 1994. Ces normes proposent aux organisations qui les ont adoptées :

- un grand nombre de références nécessaires à la planification, à la mise en place et à la maintenance des systèmes de gestion de qualité,
- la spécification des « exigences contractuelles » lors de l'établissement de relations entre l'entreprise, les clients et les fournisseurs,

- une base permettant un triple niveau d'évaluation : l'autoévaluation, l'évaluation par les fournisseurs, l'évaluation indépendante par une tierce partie comme un organisme certificateur.

Les normes de la famille ISO 9000 utilisent la terminologie de base et les définitions de la norme ISO 8402 qui sert en quelque sorte de « dictionnaire » de la qualité. L'ensemble des normes sur les systèmes qualité traite des notions, des principes et des exigences, d'une part dans le cadre de conseils pour le management de la qualité et d'autre part dans le cadre de relations de nature contractuelle entre parties. Elles s'organisent en plusieurs volets.

Les normes *ISO 9004* fournissent des conseils d'application spécialisés dans un objectif de management de la qualité adapté au profil de l'entreprise et à son environnement. Cette norme est destinée à un usage interne. Elle contient plus de quatre-vingt dix exigences à utiliser lors « de la conception et de la mise en œuvre du système qualité ». Selon cette norme, les principales activités ayant une incidence sur la qualité peuvent être représentées par la boucle qualité. Il s'agit d'un modèle conceptuel permettant de représenter des activités interdépendantes susceptibles d'exercer leur influence sur la qualité d'un produit ou d'un service tout au long des phases qui vont de l'identification des besoins jusqu'à l'évaluation de leur satisfaction<sup>1</sup>. Ainsi, au cours des différentes phases du cycle de vie d'un produit, les activités qui interviennent sont les suivantes :

- recherche et étude de marché,
- conception et développement du produit,
- planification et développement des procédés,
- approvisionnement,
- production et prestation du service,
- vérification,
- conditionnement et stockage,
- vente et distribution,
- installation et mise en service...

Le premier intérêt de cette norme est de proposer un mode de gestion du système qualité qui soit de type opérationnel. En effet, il veille d'une part, à assurer la réelle compréhension et l'efficacité du système. D'autre part, il s'assure de la parfaite adéquation entre les produits et les attentes véritables des clients. Mais le second intérêt de cette norme consiste aussi à prendre en considération une dimension environnementale. Les besoins de la société et de l'environnement sont ainsi clairement mis en avant. De même, c'est l'objectif de prévention des problèmes plutôt que celui de leur détection qui est privilégié.

---

1. Norme NF X 50-120.

La norme *ISO 9000* clarifie les relations entre les principaux concepts relatifs à la qualité. Les cinq concepts définis sont les suivants : politique qualité, gestion qualité, système qualité, maîtrise qualité, et assurance qualité. Elle fournit aussi les lignes directrices pour l'utilisation des normes et la sélection des différents modèles.

Ainsi, la norme *ISO 9000-1* définit les lignes d'orientation pour la « *sélection et l'utilisation des normes ISO 9000* ». Elle sert de guide à la famille ISO 9000 d'une part, en définissant les rôles joués par chaque norme et d'autre part, en examinant les notions fondamentales pour l'ensemble des normes. Ainsi, suivant cette norme, six éléments sont jugés essentiels dans la sélection du modèle d'assurance qualité :

- la complexité du processus de conception,
- la maîtrise de la conception,
- la complexité du processus de production,
- les caractéristiques du produit ou service,
- la sécurité du produit ou service,
- les considérations économiques et environnementales.

La norme *ISO 9000-2* définit les lignes d'orientation pour « *l'application des normes ISO 9001, 9002, 9003* ». Initialement, ces trois normes ont été rédigées pour servir de référence dans les relations contractuelles bilatérales client-fournisseur. Elles définissent les exigences en matière d'assurance qualité en proposant un modèle type d'assurance de la qualité dans le cadre des relations client-fournisseur. Mais ces normes servent aussi de « *référentiel pour les agréments* » par les clients (seconde partie) ou les certifications (tierce partie comme l'AFAQ, l'UTAC ou Union technique de l'automobile, du motorcycle et du cycle, Ascet International, BVQI France, DNV Certification France...). Elles traitent principalement du « *management de la qualité* » en décrivant les objectifs que le système qualité doit satisfaire. Ces modèles s'appliquent dans toute entreprise quelle que soit sa taille ou son secteur d'activité. Leurs exigences sont complémentaires et non alternatives aux spécifications techniques du produit ou du processus.

Chaque norme contient quatre grands chapitres :

- 1 - Objet et domaine d'application,
- 2 - Références,
- 3 - Définitions,
- 4 - Exigences en matière de système qualité.

Elle fournit une liste d'actions préventives et correctives qui doivent être mises en œuvre, quand cela s'avère nécessaire, pour que l'entreprise puisse bénéficier de la certification. Dans un souci de transparence, l'organisation de l'entreprise doit être consignée dans le « *manuel des procédures* ». Des guides normatifs décrivent les lignes directrices nécessaires à la construction du système qualité ainsi qu'à son amélioration ultérieure.

Les normes ISO 9001, 9002 et 9003 obéissent au principe de construction d'une poupée russe. Les exigences de l'ISO 9003 sont incluses dans celles de l'ISO 9002, qui sont elles-mêmes incluses dans celle de l'ISO 9001.

La norme *ISO 9003* est la plus simple. Elle s'appuie sur le contrôle des produits livrés mais ne concerne pas les services de production et de conception. Il s'agit donc d'un modèle pour l'assurance de la qualité en contrôle et essais finals. L'entreprise la choisira quand elle apporte une valeur ajoutée dans le seul domaine de la transformation du produit. Cette norme est particulièrement adaptée aux entreprises de sous-traitance de spécialité (le produit n'appartient pas à l'entreprise qui ne fait qu'apporter sa valeur ajoutée sur une spécialité technologique). Une enquête de l'AFAQ de septembre 2000 estime à 1 % seulement le nombre de certificats ISO 9003 délivrés par l'AFAQ. Donc, bien que l'ISO 9003 soit le modèle d'assurance qualité le plus simple, il est loin d'être le plus répandu. En effet, les entreprises ne considèrent pas valorisant auprès de leur donneur d'ordres l'obtention d'un niveau de certification aussi modeste.

La norme *ISO 9002*, elle, est plus complète que la 9003. Elle touche presque tous les services de l'entreprise (achat et production notamment) et correspond à un modèle pour l'assurance de la qualité en « *production, installation et prestations associées* » (SAV). Cette norme est applicable à la majorité des entreprises sous-traitantes. Elle présente un intérêt certain pour toute entreprise voulant démontrer son aptitude à maîtriser ses processus de fabrication, ainsi que les services associés à ses produits. En septembre 2000, 75 % des entreprises sont certifiées ISO 9002 par l'AFAQ.

## **REPÈRES :** La certification ISO 9002 d'Eurotunnel

Parmi elles, Eurotunnel s'est engagé dans une démarche de certification ISO 9002 conjointe avec l'AFAQ et BSI (auditeur anglais). La première étape concernant l'infrastructure tunnel aboutit au premier certificat en avril 1999. La collaboration bi-nationale AFAQ-BSI constitue ici un facteur important de promotion de la démarche en interne dans la mesure où le projet associe deux cultures différentes. La certification reflète ainsi l'aspect franco-britannique d'Eurotunnel. Elle permet la remise à plat de l'organisation de l'entreprise et la remise en cause de procédures héritées de la période de construction et inadaptées en phase d'exploitation. Elle facilite aussi le respect des exigences de qualité par les fournisseurs et apporte une meilleure crédibilité vis-à-vis de l'autorité de tutelle, la Commission intergouvernementale. Enfin, la mise en place d'actions correctives et préventives permet de réaliser des gains importants en supprimant les causes d'incidents opérationnels.

La norme *ISO 9001* est la plus complète, car elle couvre l'ensemble des activités de l'entreprise. Elle concerne la totalité du processus, de la conception jusqu'au service après vente. C'est donc un modèle pour l'assurance de la qualité en « *conception,*

*développement, production, installation et prestations associées* ». Elle s'applique aux activités intellectuelles, et parmi elles, essentiellement aux activités de conception. Elle concerne aussi les activités pour lesquelles une erreur de conception peut donner lieu à des préjudices économiques importants, à des problèmes de sécurité ou bien à des dégradations de l'environnement. À la différence de la norme ISO 9002 qui sera utilisée si la firme n'est pas véritablement leader sur son marché, la norme ISO 9001 est particulièrement destinée à l'entreprise leader afin de valoriser ses avantages concurrentiels. 21 % des entreprises sont certifiées ISO 2001 par l'AFAQ en septembre 2000.

## **REPÈRES :** La certification ISO 9001 de France Télévision Publicité (FTP)

FTP a mis en place, courant 1998, une démarche de certification ISO 9001. Cette démarche s'inscrit logiquement dans le projet global de l'entreprise dont les axes stratégiques sont la maîtrise de la qualité et de l'innovation. FTP met en œuvre cette démarche de certification afin d'atteindre un meilleur niveau de satisfaction des clients. Il s'agit aussi de s'engager clairement vis-à-vis de l'ensemble des chaînes de la télévision publique (France 2, France 3) dont elle gère l'espace publicitaire, et vis-à-vis de son autorité de tutelle. En interne, l'objectif est de se doter d'un outil de management de la qualité pertinent.

Chez FTP, la certification s'organise autour d'une démarche participative de l'ensemble du personnel. Les différents niveaux stratégiques sont directement impliqués grâce à la création de groupes de travail transversaux. L'objectif est de hiérarchiser les priorités (« *Quels sont les secteurs à certifier en premier ?* »), mais aussi d'allouer des ressources et de prouver l'implication de la direction. Afin de motiver le personnel et casser l'image d'inertie qui colle au service public, des publications régulières en interne et des interventions orales permettent de suivre l'avancée de la démarche. Vis-à-vis de France 2 et de France 3, l'obtention de la certification ISO 9001 permet de valoriser la régie au sein du groupe France Télévision. En interne, l'ensemble du personnel se sent davantage impliqué dans le fonctionnement de l'organisation, et la communication est bien meilleure. De plus, de nouvelles méthodes de travail apparaissent. Ainsi aujourd'hui, pour toute gestion de projet, le premier réflexe consiste à clarifier les règles en amont.

Chaque norme comprend vingt rubriques bien référencées qui servent de base lorsque l'entreprise fait une demande de certification par un organisme autorisé. Par exemple, pour l'ISO 9001, on trouve parmi les vingt rubriques (*cf.* tableau 6.12) :

- la responsabilité de la direction,
- le système qualité,
- la maîtrise de la conception,
- l'identification et traçabilité du produit,

Tableau 6.12 : Exigences respectives des normes ISO 9001, 9002 et 9003 pour les chapitres 4 « Exigences en matière de système qualité »

Titre du paragraphe dans l'ISO 9001	N° du §	Exigences ISO 9001	Exigences ISO 9002	Exigences ISO 9003
Responsabilité de la direction	4.1	■	■	●
Système qualité	4.2	■	■	●
Revue de contrat	4.3	■	■	■
Maîtrise de la conception	4.4	■	▲	▲
Maîtrise des documents et des données	4.5	■	■	■
Achats	4.6	■	■	▲
Maîtrise du produit fourni par le client	4.7	■	■	■
Identification et traçabilité du produit	4.8	■	■	●
Maîtrise des processus	4.9	■	■	▲
Contrôles et essais	4.10	■	■	●
Maîtrise des équipements de contrôle, de mesure et d'essai	4.11	■	■	■
État des contrôles et des essais	4.12	■	■	■
Maîtrise du produit non conforme	4.13	■	■	●
Actions correctives et préventives	4.14	■	■	●
Manutention, stockage, conditionnement, préservation et livraison	4.15	■	■	■
Maîtrise des enregistrements relatifs à la qualité	4.16	■	■	●
Audits qualité internes	4.17	■	■	●
Formation	4.18	■	■	●
Prestations associées	4.19	■	■	▲
Techniques statistiques	4.20	■	■	●

- : exigence complète.
- : exigence moins contraignante que l'ISO 9001 et l'ISO 9002.
- ▲ : élément absent.

- les audits qualité internes,
- la formation, etc.

La prise en compte des rubriques et des exigences qu'elles contiennent dépend de la norme d'assurance qualité choisie par l'entreprise. L'entreprise qui fait de la conception doit viser à terme la norme ISO 9001. Cela suppose qu'elle réponde à toutes les exigences, car cette norme est la plus complète. Se faire certifier ISO 9002 constituerait dans ce cas seulement une première approche de la certification (il serait d'ailleurs dangereux de ne demander un effort qu'à une seule partie de l'entreprise). L'entreprise a donc intérêt à privilégier une certification plus large si elle en a les moyens. Par rapport aux vingt rubriques correspondant à la norme 9001, les exigences des normes ISO 9002 et ISO 9003 sont déclinées par suppression de certains paragraphes. Pour chaque rubrique de la norme, des précisions sont fournies par la norme ISO 9000-2 et facilitent ainsi leur compréhension.

Parallèlement à ces normes principales, il existe des normes complémentaires. Elles n'ont pas pour vocation de constituer des référentiels, mais elles fournissent des lignes directrices pour l'application des normes ISO 9000 à des domaines spécifiques. C'est le cas notamment de la norme *ISO 9000-3* destinée au développement, à la fourniture et la maintenance des logiciels. L'*ISO 9004-2* concerne la mise en œuvre d'un système qualité dans un organisme de service. L'*ISO 9004-5* est relative aux plans de qualité et l'*ISO 9004-6* à la gestion de projet, etc.

### ► *Analyse critique des normes principales*

L'analyse de ces différentes rubriques conduit à faire apparaître certains points faibles. Ainsi, une analyse détaillée des normes ISO 9001 et 9002 montre que c'est à l'entreprise que revient le choix de la mise en place de techniques statistiques. Or, le fait de ne pas exiger l'application de ces techniques nuit parfois à l'entreprise qui les néglige totalement. De même et de façon plus générale, les normes ISO 9001, 9002 et 9003 définissent ce qui doit être fait sans préciser les moyens à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs fixés. Par exemple, la norme indique à l'entreprise ce qu'elle doit faire dans le cadre d'une revue de contrat (définition des exigences du client et documentation correcte, atténuation des écarts entre les exigences de la commande et le contenu de la proposition, capacité du fournisseur à respecter les exigences du contrat), mais elle ne mentionne pas les modalités pratiques à mettre en œuvre pour respecter la norme.

Une réponse simple à ces critiques est à rechercher dans l'esprit qui a inspiré ces normes dès leur élaboration. En effet, les modèles d'assurance qualité ISO 9000 doivent respecter deux principes. D'une part, leur application doit être universelle en termes de processus, de produit et de service. D'autre part, ils doivent définir des principes et non des méthodes ou des techniques. Parallèlement à « l'esprit de la loi », une seconde explication se trouve dans l'impératif de flexibilité de l'entreprise contemporaine. Celui-ci permet de comprendre aisément que les normes ISO 9000 privilégient les grandes lignes directrices de l'assurance qualité plutôt que d'enfermer l'entreprise dans un carcan normatif susceptible de rigidifier son activité et son organisation.

## 2.2 De la théorie à la pratique : les modalités de la normalisation dans l'entreprise<sup>1</sup>

### ► Cas Celta : l'organisation d'un système qualité

L'entreprise Celta qui appartient à un groupe de dimension mondiale, le groupe Rossman, a pour principale activité la conception, la fabrication, la transformation et la vente de plaques et emballages de carton ondulé. Afin de se démarquer de la concurrence, Celta a fait du management de la qualité un objectif majeur. À travers la déclaration de la direction générale et la charte de qualité remise à chaque membre du personnel, la politique de qualité totale menée par l'entreprise apparaît clairement. Certifiée ISO 9002 en janvier 1994, puis ISO 9001 en janvier 1997, Celta poursuit une démarche de progrès tant en termes de qualité des matières premières, que de qualité des produits.

Afin de pouvoir suivre cette évolution, des indicateurs mensuels de la qualité sont établis sous la forme de tableaux de bord. De même, des rapports d'audit sont présentés puis analysés lors de revues de direction qui ont lieu une fois par trimestre. Un manuel qualité a été rédigé. Il sert de référentiel général concernant les activités de conception, de fabrication et de commercialisation des produits en carton ondulé. Il concerne aussi la transformation des plaques en produits d'emballage et la livraison chez le client. Le service qualité anime des groupes de travail et organise des séminaires qualité destinés au personnel.

Les *acteurs* du système d'assurance qualité sont nombreux. Il y a d'abord la direction générale, chargée d'impulser le management de la qualité. Elle définit la politique tout en veillant à son application. C'est « l'animateur qualité » qui représente la direction générale sur le terrain. Le service qualité joue notamment un rôle de coordinateur en sensibilisant les différents services de l'entreprise à la norme ISO 9001 à atteindre. Il assure l'efficacité du système qualité en pilotant les audits internes, en gérant le plan d'amélioration de la qualité, en assurant l'application des mesures préventives et/ou correctives... Le service labo-qualité est chargé d'analyser les matières premières, les produits semi-finis et finis. Le service du contrôle de la qualité vérifie enfin l'application et le suivi des procédures par rapport aux exigences de la norme ISO 9001.

La *documentation* du système d'assurance qualité s'organise autour de quatre niveaux :

- le manuel qualité : il renferme les dispositions prises par Celta pour respecter les exigences de l'ISO 9001,
- les procédures : elles décrivent de façon plus détaillée les dispositions prises dans le manuel,

1. É. Dusséqué, *La Certification d'entreprise sur la base des normes ISO 9000 : caractéristiques et enjeux*, Mémoire de DEA de stratégie industrielle, université Paris I Sorbonne, septembre 2000.

- les gammes opératoires et de contrôle : la gamme opératoire décrit les spécifications techniques des articles à fabriquer, la durée consacrée à chaque tâche. La gamme de contrôle répertorie les points de contrôle d'un processus ou d'un produit à un poste déterminé,
- les fiches de spécification : elles regroupent la fiche technique d'un produit, la fiche de travail machine, la fiche de suivi de commande...

Une fois ces différents niveaux de documentation maîtrisés, Celta consigne par écrit les principales dispositions relatives à la planification de la qualité à partir des exigences de la norme ISO 9001.

Toutes les *étapes de la chaîne de valeur* de l'entreprise font l'objet d'une maîtrise de la qualité. Au niveau de la conception Celta dispose d'une organisation spécifique permettant de fiabiliser les activités de création. Celle-ci planifie l'ensemble des activités de conception des emballages, elle définit les interfaces organisationnelles nécessaires, et elle organise les revues de conception... Les *achats*, effectués en conformité avec les exigences du système qualité, reposent au départ sur une sélection du fournisseur. La phase d'industrialisation implique la définition de procédures afin de contrôler la qualité des produits à chaque étape, et d'organiser leur traçabilité. La non-conformité fait l'objet d'actions correctives immédiates. La maintenance préventive s'organise notamment sous la forme d'audits internes et externes. La maîtrise de la qualité est aussi assurée en bout de chaîne (manutention, stockage, conditionnement et livraison).

Pour mettre en pratique ce système de management de la qualité il a fallu élargir les domaines de responsabilité de la direction générale. Le management global des ressources humaines a aussi été redéfini. Une charte qualité a été rédigée afin de susciter la convergence des intérêts de chacun. Chaque membre de l'entreprise a été amené à lire cette charte et à la signer pour confirmer son adhésion. Des actions de formation ont été réalisées dans le cadre de plans annuels. Les salariés d'un même atelier sont aussi invités à se partager une prime mensuelle tenant compte de la productivité, des rebuts et des retours-clients (son montant peut atteindre 15 % du salaire des ouvriers). Le décroisement de l'entreprise à travers une gestion transversale des fonctions constitue aussi un mode de fonctionnement nouveau.

### ► *Cas « X » : la certification d'entreprise<sup>1</sup>*

« X » est une entreprise de dimension moyenne du secteur métalo-mécanique. Son domaine d'activité est la fabrication et la commercialisation de pièces métalliques (vis, écrous, rivets...) et de petits outils manuels. La stratégie de l'entreprise, jusqu'aux années 80, était basée sur la maîtrise des coûts, des délais et l'augmentation des quantités produites. Cette formule a donné de bons résultats jusqu'en 1990, date à laquelle l'entreprise a dû adopter une nouvelle stratégie fondée sur la spécialisation et la différenciation, notamment à partir d'une gestion rigoureuse de la qualité,

1. Par souci de confidentialité, l'entreprise nous a demandé de ne pas indiquer son nom.

de l'innovation et du marketing. Malgré des effets positifs en terme commercial, cette nouvelle stratégie n'a pas donné de très bons résultats dans le domaine de la production. La pression à la certification s'est fait rapidement ressentir, en particulier de la part des clients appartenant au domaine des composants électriques, électroniques et à l'industrie automobile. Aussi, en accord avec un consultant en qualité, l'entreprise a décidé d'entreprendre une démarche de certification ISO 9002.

De façon formelle, mais non obligatoire, il y a en principe quinze étapes à suivre pour adopter une démarche de certification. « X » a organisé son projet de certification autour de *dix étapes* :

1 - nomination du coordinateur du projet ;

2 - action d'information auprès de tous les collaborateurs au projet et tous les opérateurs ;

3 - audit du système qualité afin de pouvoir comparer les exigences de la norme et la réalité de l'organisation industrielle. Cet audit a pris trois jours et a permis de définir les priorités pour l'élaboration des procédures et l'identification des acteurs concernés ;

4 - définition de l'architecture du système documentaire et élaboration du manuel qualité (douze semaines) ;

5 - mise en place de groupes d'amélioration et d'élaboration des procédures : les procédures visent « à prévoir ce que l'on doit faire ». Elles fournissent ensuite l'information, et définissent la formation nécessaire à chaque membre afin qu'il « fasse selon les prévisions » ;

6 - actions de formation pour la mise en place du système de qualité : ces actions concernent aussi bien les achats de produits et de services, que les procédures de contrôle et essais ;

7 - audit du système qualité : quelques mois après le début de la mise en œuvre du système qualité, il fallait analyser son efficacité et mesurer son adéquation à la norme ISO 9002 (identification de la nature des non-conformités et de leur ampleur) ;

8 - révision du système qualité par la direction sur la base de l'audit effectué ;

9 - demande de l'audit de certification à l'organisme certificateur : l'organisme certificateur est l'AFAQ. Un certain nombre de documents lui sont envoyés et un questionnaire est rempli par « X » ;

10 - réalisation de l'audit de certification et analyse du rapport de l'audit : l'organisme certificateur qui a procédé à une analyse préliminaire du système documentaire de « X » et à l'étude du questionnaire nomme trois mois plus tard une équipe auditrice. Celle-ci consacrera plus d'un quart de la durée de l'audit à l'analyse du manuel de qualité. Le service qualité a été évalué au même titre que les autres services. Le service production a fait l'objet d'une attention particulière tout comme les fonctions « maîtrise des procédés, contrôle et essais », « maîtrise des équipements de contrôle, de mesure et d'essais », « maîtrise des documents ». Six semaines après

la fin de l'audit (juin 1996) « X » a reçu de l'AFAQ le rapport d'audit. La répartition des sources de non-conformité était la suivante :

- 30 % pour la fonction « maîtrise des équipements de contrôle, de mesure et d'essai »,
- 20 % pour la fonction « maîtrise des documents »,
- 20 % pour la fonction « audits qualité internes »,
- 20 % pour la fonction « système de qualité »,
- 10 % pour la fonction « formation ».

La correction des défauts de conformités, deux semaines après la réception du rapport d'audit, a permis à « X » d'obtenir le certificat attestant le respect de la norme ISO 9002. Ce certificat d'une validité de trois ans a été renouvelé en mai 1999. Il reste valable jusqu'en avril 2002, date à laquelle « X » devra se faire certifier sur la base des nouvelles normes ISO version 2000.

Le bilan de la certification de l'entreprise « X » montre qu'elle a été globalement bien perçue par la plupart des membres de l'entreprise, même si elle se traduit par une contrainte et une surcharge administrative pour 30 % des cadres. Toutefois, l'intérêt de cette procédure est de faire converger les efforts de tous vers un intérêt commun. En fait, pour 71 % des cadres et agents de maîtrise la certification a permis de créer un langage commun au sein de l'entreprise et de développer un meilleur climat. Pour 69 % des cadres et agents de maîtrise l'homogénéisation des procédures et la rigueur imposée ont clarifié la structure de l'organisation ainsi que les processus de gestion. Elles ont aussi conduit à une meilleure redéfinition des responsabilités. Pour 82 % des opérateurs, la certification a été perçue comme valorisante bien qu'elle ait provoqué des lourdeurs dans la gestion des documents et qu'elle ait parfois été perçue comme un moyen de contrôle. De façon plus globale, c'est le savoir-faire de l'entreprise « X » qui a été pérennisé et l'image de marque qui s'est trouvée renforcée. De nouvelles tâches ont été créées et une large place a été faite à l'autocontrôle. Des besoins en formation ont été identifiés et satisfaits, et la communication entre les différents acteurs de l'entreprise a été améliorée.

### **3 Les normes ISO 9000 version 2000 : le management total de la qualité**

Si les entreprises peuvent se prévaloir jusqu'en novembre 2003 des certificats selon l'édition de 1994 (ils restent en effet valables pendant une période de trois ans après la parution de la norme version 2000), il est cependant de leur intérêt de mettre en place le plus rapidement possible une politique de management de la qualité totale répondant aux nouvelles dispositions. Les méthodes précédemment exposées dans le cadre de l'assurance qualité (élaboration d'un manuel qualité, réalisation d'audits...) sont conservées, mais elles sont alors organisées autour d'une action beaucoup plus globale, c'est-à-dire coordonnée au niveau de l'organisation dans son ensemble.

### 3.1 La nécessité d'élaborer de nouvelles normes

En 1990, le rapport Vision 2000 a constitué le point de départ de la révision des normes ISO 9000 version 1987. Deux points essentiels peuvent être retenus à la lecture de ce rapport. D'une part, s'il n'existe pas de besoin spécifique aux différents secteurs d'activités des entreprises, il semble que les normes ISO de 1987 s'adressent plus particulièrement aux industries manufacturières. D'autre part, ces normes doivent évoluer afin de répondre à l'ensemble des besoins des quatre catégories génériques de produits que sont les produits matériels, les produits issus de processus à caractère continu, les logiciels et les services. En fait, les normes ISO 9000 version 1987 s'appliquent essentiellement dans le cadre de l'assurance qualité des produits. Le service constitue dans ce cadre-là une simple prestation annexe au produit lui-même. Or, les différentes normes ISO 9001, 9002 et 9003 semblent inadaptées au domaine des services. En effet, la conception est souvent indissociable du service lui-même et s'imbrique dans le processus de production (c'est particulièrement le cas pour les activités de conseil, les activités informatiques visant à créer des logiciels dédiés à certaines applications, la formation...). L'excellence qualité passe par la maîtrise de l'ensemble des processus susceptibles de donner de la valeur au produit. Parmi elles, les « activités intellectuelles » constituent une catégorie conséquente. La nécessité de travailler sur la base d'un modèle unique, l'ISO 9001, pour la version 2000 s'impose alors.

Afin d'inciter les entreprises à adopter les approches modernes en management de la qualité, mais aussi afin de développer des pratiques organisationnelles plus efficaces, des changements dans la structure des normes ont donc été apportés. Si ces modifications, publiées en décembre 2000, affectent les normes ISO 9000 version 1994, les exigences essentielles sont cependant respectées<sup>1</sup>. Dans sa version 1994, la famille ISO 9000 de management de la qualité comportait vingt-sept normes et documents. Pour éviter leur multiplication abusive, l'ISO/TC 176 (TC pour Comité technique) a décidé de limiter leur nombre à quatre. Ces quatre normes principales seront associées à un nombre relativement réduit de documents, tels que des normes fixant les lignes directrices, des brochures, des rapports techniques, des spécifications techniques... Tout en veillant à « l'allègement du nombre de normes et de documents », le Comité technique a cherché à intégrer dans les quatre normes principales les vingt-sept normes de 1994. De même, les besoins sectoriels sont pris en considération mais sans pour autant remettre en cause le caractère générique des normes initiales.

Les principales orientations visant à guider le processus de révision peuvent être résumées ainsi :

1 - Extension de la notion de produit pour y inclure la notion de service, et applicabilité globale des normes à tous les produits. À titre d'exemple, face au développement des NTIC, on peut citer le problème de l'évaluation et de la mesure de la

---

1. [www.iso.ch/9000f/2000rev\\_3bisf.htm](http://www.iso.ch/9000f/2000rev_3bisf.htm).

qualité des réseaux informatiques, notamment le réseau Internet, dans le cadre du développement du commerce électronique<sup>1</sup>,

- 2 - Applicabilité des normes à tous les organismes quelle que soit leur taille,
- 3 - Formulation plus claire des normes visant à faciliter leur compréhension,
- 4 - Simplicité d'emploi et réduction significative du volume de documentation requis,
- 5 - Cohésion entre les systèmes de management de la qualité et les processus organisationnels,
- 6 - Point de départ du management total de la qualité,
- 7 - Accentuation de l'objectif de satisfaction de la clientèle à travers un processus d'amélioration permanent,
- 8 - Compatibilité avec les autres systèmes de management comme l'ISO 14000 pour le management environnemental,
- 9 - Base cohérente pour traiter des besoins des organismes dans des domaines spécifiques (aéronautique, espace, automobile, télécommunication, médecine...).

### 3.2 Présentation des nouvelles normes

Les quatre normes de base sont les suivantes :

- *ISO 9000* : Elle présente les principes du management de la qualité et sert en quelque sorte d'introduction à l'ensemble de la famille des ISO 9000. En effet, elle constitue un point de départ permettant d'assurer la compréhension des normes et définissant les termes et les concepts fondamentaux utilisés dans la famille des ISO 9000 ;
- *ISO 9001* : Elle est dédiée à l'assurance qualité du produit. Elle remplace les trois normes d'assurance qualité 9001, 9002 et 9003 (version 1994). Elle définit les exigences à utiliser pour évaluer l'aptitude d'une entreprise à répondre aux exigences des clients et aux exigences réglementaires applicables. Elle sert de référentiel lors de la certification des systèmes qualité et constitue ainsi la seule norme de la famille ISO 9000 permettant d'effectuer une certification par une tierce partie. Elle peut servir aussi de base dans le cadre de la réalisation d'accords contractuels ;
- *ISO 9004* : Elle concerne directement le management de la qualité. Elle propose des lignes directrices susceptibles de guider les systèmes de management de la qualité dans la recherche de l'amélioration des opérations et l'obtention d'avantages pour les parties intéressées. Elle est structurée de la même façon que l'ISO 9001 avec qui elle constitue une paire cohérente. C'est en fait une passerelle vers les concepts de la qualité qui dépassent la simple notion d'assurance qualité ;
- *ISO 19011* : Elle constitue la référence en matière d'audit qualité et d'environnement.

---

1. [www.finances.gouv.fr](http://www.finances.gouv.fr).

Complémentairement à ces quatre principales normes, neuf autres normes viennent s'ajouter. Parmi elles, on trouve l'*ISO 10005 : 1995* qui propose des lignes directrices pour l'élaboration des *plans qualité*. L'*ISO 10006 : 1997* permet de garantir la qualité des processus et du produit final du projet (management de projet). De même, l'*ISO 10013 : 1995* est destinée à l'élaboration des manuels qualité et l'*ISO 10015 : 1999* prodigue des conseils quant à la formation. Dans le cadre de normes de nature plus spécifiques, l'*ISO/TS 16949 : 1999* offre des conseils de nature sectorielle pour l'application de la norme ISO 9001 au cas de l'industrie automobile<sup>1</sup>.

Les quatre normes principales sont construites sur la base de la logique du PDCA. Le tableau 6.13 permet d'illustrer ce cycle appliqué au processus de normalisation.

Tableau 6.13 : Logique du PDCA appliqué aux normes ISO 9000 : 2000  
(adapté des : *Projets des normes ISO 9000*, version 2000, AFNOR)

Cycle PDCA	Référence	Titre
Plan (Comprendre)	ISO 9000	Systèmes de management de la qualité -Principes essentiels et vocabulaire
Do (Construire)	ISO 9004	Systèmes de management de la qualité -Lignes directrices pour l'amélioration de la performance
Check (Démontrer)	ISO 9001	Systèmes de management de la qualité -Exigences
Act (Améliorer)	ISO 19011	Lignes directrices relatives aux audits de systèmes de management qualité et environnemental

Une comparaison des normes ISO 9000 version 1994 avec les nouvelles normes permet de mieux comprendre la nature des changements effectués comme le montre la figure 6.16.

Les normes ISO 9001 et ISO 9004 révisées sont élaborées dans le cadre d'un « *duo cohérent* » de normes. L'objectif de ce « *duo cohérent* »<sup>2</sup> est de proposer des structures et des séquences identiques afin de faciliter le passage d'une norme à l'autre. En effet, l'*ISO 9001 version 2000* traite des exigences de systèmes de management de la qualité susceptibles de permettre à un organisme de faire la preuve de sa capacité à répondre aux besoins de ses clients. La norme *ISO 9004 révisée* va au-delà de l'*ISO 9001* puisqu'elle s'intéresse à l'élaboration d'un système de management de la qualité complet, c'est-à-dire adapté aux besoins de toutes les parties intéressées.

On voit donc qu'une passerelle doit être aménagée entre les deux normes. Cette passerelle prend ici la forme d'une homogénéisation des structures et des séquences de

1. Cette typologie n'étant pas exhaustive, le lecteur est invité à consulter notamment le site [www.iso.ch/9000f/](http://www.iso.ch/9000f/) pour disposer de l'ensemble des normes de la famille ISO 9000 : 2000.

2. [www.iso.ch/9000f/](http://www.iso.ch/9000f/), déjà cité.

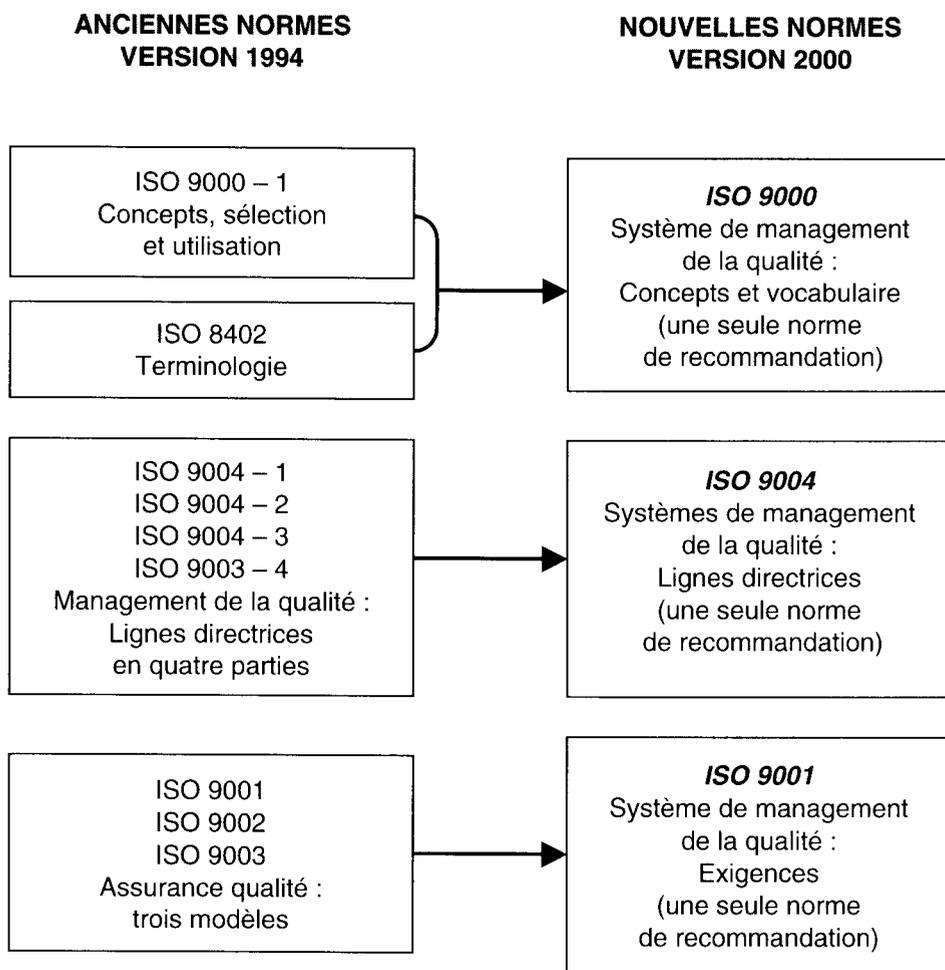


Figure 6.16 : Comparaison des normes ISO 9000 version 1994 et ISO 9000 version 2000<sup>1</sup>

chaque norme. Mais ce « duo » ne remet pas en cause le fait que chaque norme se suffit à elle-même. Il s'agit simplement de développer un effet de synergie, notamment en terme organisationnel. L'objectif est de lier le management moderne de la qualité aux processus et activités réels de l'entreprise dans laquelle ils prennent place.

De même, la recherche d'une amélioration permanente et l'obtention de la satisfaction chez le client constituent deux préoccupations majeures présidant à la révision des normes. Au-delà de l'idée d'assurance qualité, c'est donc l'objectif de l'excel-

1. Schéma élaboré d'après Sisqual, 1998, 5<sup>e</sup> salon des solutions informatiques et des services pour la qualité et l'assurance qualité, *Recueil des conférences*, éditions Teknea, septembre 1998.

lence qui est visé. Celui-ci implique la possibilité d'appliquer les normes de façon très globale. La figure 6.17 permet d'illustrer cette démarche.

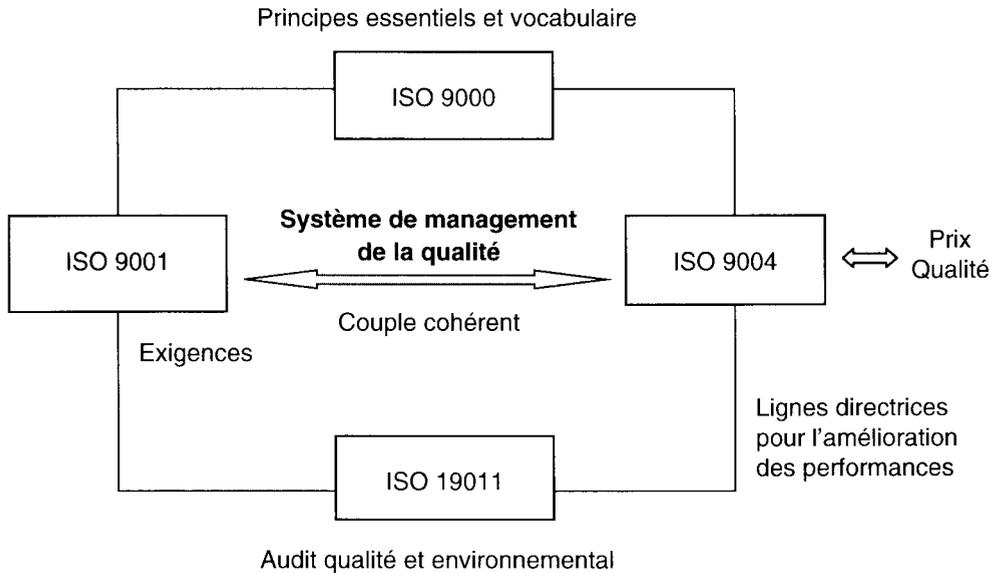


Figure 6.17 : La ligne de produits 2000  
 Source : Les Projets des normes ISO 9000, version 2000, AFNOR.

Ces normes sont destinées à l'ensemble des organismes privés ou publics, grands ou petits, produisant des biens manufacturés, des services ou des logiciels. Le principal objet de la révision 2000 des normes ISO 9000 consiste à adapter les normes du management et de l'assurance qualité pour y intégrer les *services* (et les autres catégories de produits génériques aussi, bien sûr). Le résultat obtenu démontre bien la volonté de proposer une nouvelle approche du management de la qualité plus *globale* et plus *intégratrice* dans la mesure où elle laisse une large place à la gestion des processus. Les principes de l'assurance qualité sont progressivement gommés au profit d'un management de la qualité davantage orienté client.

### 3.3 Les principales évolutions par rapport à 1994

Les efforts entrepris pour faciliter la compréhension des normes, pour assurer leur cohésion, ainsi que la réduction significative du volume de documentation contribuent à alimenter sur la *forme* les principales évolutions.

D'un point de vue plus *stratégique*, l'extension du concept de « produit » (qui inclut désormais les services) traduit bien la volonté de rompre avec les normes traditionnelles. De même, la prise en compte des intérêts et des besoins de toutes les parties intéressées, notamment avec l'ajout de la notion de « périmètre d'application » (qui

englobe un large éventail d'organismes et d'activités) et l'utilisation de la notion « d'organisme », participent à cette évolution.

Parallèlement à ces modifications, ce sont les *principes* mêmes du management de la qualité qui ont changé. L'examen des normes ISO 9000 : 2000 permet d'identifier plusieurs facteurs majeurs de rupture.

1 - Le premier facteur s'illustre par une double contrainte. D'une part, la prise en compte de la dimension ressources humaines est nécessaire, notamment par l'implication des dirigeants de l'entreprise dans la gestion de la qualité. Ces derniers doivent s'investir lors des phases de développement et d'amélioration du management de la qualité. D'autre part, ils doivent systématiser l'écoute client et intégrer toutes les contraintes de nature réglementaire et légale.

2 - Le deuxième facteur se traduit par la volonté de mettre la satisfaction du client au cœur des préoccupations de l'entreprise et de ses partenaires. Elle doit prendre en compte les besoins des clients et anticiper leurs attentes. Besoins et attentes doivent donc être identifiés et largement diffusés dans toute l'entreprise. Il est donc nécessaire que l'entreprise se dote d'un système d'information performant, ainsi que d'un système de veille afin de maintenir en permanence la satisfaction du client à son plus haut niveau.

3 - La volonté de mesure, d'analyse et d'amélioration se trouve aussi au cœur des nouvelles normes. Ainsi, l'introduction de la notion « d'autoévaluation » de l'organisation comme moteur d'amélioration (ISO 9004) participe à cette logique de performance.

4 - Au cœur de ces différents éléments de fracture, l'accent est largement mis sur le *rôle des processus*, notamment à travers les deux normes harmonisées ISO 9001 (2000) et ISO 9004 (2000). « *Les processus sont considérés comme étant composés d'une ou de plusieurs activités corrélées qui exigent des ressources et une gestion pour obtenir des éléments de sortie prédéterminés*<sup>1</sup>. »

L'expérience montre qu'insister sur l'importance d'une approche transversale en termes de processus conduit l'entreprise à une meilleure maîtrise de ses activités et de leurs interactions (par exemple, le système logistique sera plus efficace). Trois grandes familles de processus ont été clairement identifiées :

- les processus de management : revue de direction, audits internes, actions correctives et préventives... ;
- les processus de support : formation, maintenance, qualification des fournisseurs... ;
- les processus de réalisation du produit ou du service : conception, développement, industrialisation, conditionnement, service après vente...

L'introduction de notions connexes à celle de processus comme celle de « l'amélioration continue » permet d'augmenter l'efficacité du système. Concrètement, l'intro-

---

1. [www.iso.ch/9000f/ISO90002000f/](http://www.iso.ch/9000f/ISO90002000f/).

duction de l'amélioration permanente dans les nouvelles normes ISO 9001 et 9004 s'organise autour de huit principes de management de la qualité<sup>1</sup> : l'écoute client, le leadership, l'implication du personnel, l'approche processus, le management par l'approche système, l'amélioration continue, les relations bénéfiques avec les fournisseurs, et l'approche factuelle lors de la prise de décision.

La logique du modèle de processus s'organise autour de quatre chapitres principaux comme l'illustre la figure 6.18 :

- responsabilité de la direction,
- management des ressources,
- réalisation du produit,
- mesure, analyse et amélioration.

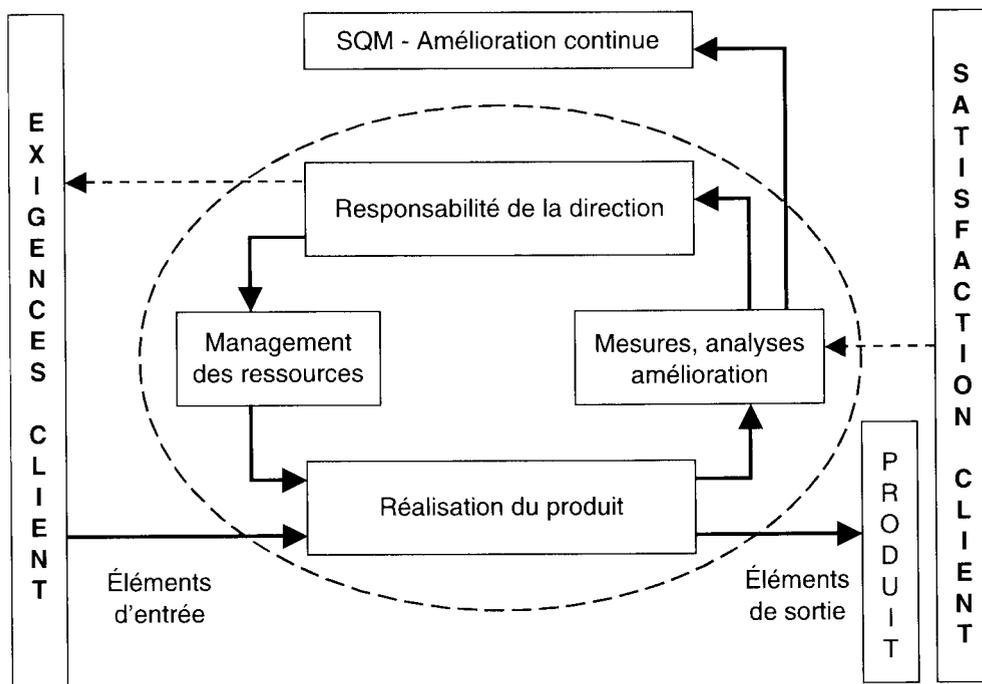


Figure 6.18 : La logique du modèle de processus  
 Source : Les Projets des normes ISO 9000, version 2000, AFNOR.

1. Pour plus de détails sur ces principes, voir le site : [www.ISO.ch](http://www.ISO.ch).

### 3.4 Pour un bon usage de la norme : ses limites et ses enjeux

La normalisation des processus permettant d'obtenir la certification de l'entreprise est parfois mal perçue. C'est particulièrement vrai lorsque l'assurance qualité privilégie la formalisation des processus, le contrôle et la centralisation des documents, le développement d'une culture écrite<sup>1</sup>....

Une mauvaise appréhension des différents procédés de certification et de l'état d'esprit de la règle conduit aussi à commettre certaines erreurs. Ainsi, la *bureaucratization* de l'organisation résulte-t-elle souvent d'un excès de formalisation. Par exemple, l'élaboration d'un manuel qualité peut favoriser la rigidification de certaines procédures, pour lesquelles un peu de souplesse est nécessaire (adaptabilité des opérateurs aux variations de l'environnement). Une fois l'obtention du certificat par le fournisseur certains clients n'hésitent pas non plus à maintenir la pression en multipliant les audits clients.

Le passage d'une démarche d'assurance qualité à une gestion totale de la qualité permet d'atténuer certains inconvénients, notamment en terme de formalisation, donc de rigidité de l'entreprise<sup>2</sup> :

- le qualicien qui définissait les exigences à prendre en compte voit son rôle dévolu au management. Celui-ci se contente alors de fixer les « règles du jeu » ce qui confère un certain degré de flexibilité et de réactivité à l'organisation. C'est la logique même du système qualité qui diffère afin de limiter la formalisation et la rigidité de l'organisation ;
- la conformité technique du produit était au centre des préoccupations de l'ISO 9000 version 1987. Aujourd'hui, c'est la satisfaction du client qui est au coeur du dispositif qualité. Cela conduit à une plus grande liberté dans l'utilisation des ressources et à un degré d'ouverture croissant sur les préoccupations économiques et sociales de l'environnement ;
- l'approche traditionnelle contribuait directement à la réalisation de tâches définies. La nouvelle approche recherche l'obtention de résultats et l'efficacité. La flexibilité résulte ici de la méthode de management adoptée. À une gestion des tâches se substitue une gestion par objectif. De même, à l'application des procédures qui constituait la condition d'efficacité par excellence se substitue un management par compétence assurant l'efficacité des processus ;
- la vérification de conformité et l'élimination des causes de non-conformité constituaient la ligne directrice des normes de 1987 alors que désormais la mesure et l'amélioration continue des processus sont privilégiées.

L'entreprise a donc tout à gagner d'une politique de gestion de la qualité totale basée notamment sur la certification ISO 9000 : 2000.

---

1. C. Jambart, *L'Assurance qualité*, Paris, Économica, 1997.

2. H. Mitonneau, *Réussir le passage à la version 2000 de la norme ISO 9001*, coll. Demos qualité, Paris, Demos, avril 2000.

## REPÈRES : IBM Sales & Services certifiée ISO 9001 (version 2000)

L'entreprise IBM a bien compris la nature de ces enjeux. Suite aux différents audits réalisés par BVQI dans tous les pays européens, IBM a obtenu en 2000 la certification ISO 9001 basée sur la nouvelle norme. Celle-ci concerne l'ensemble des activités *Sales & Services* de l'entreprise. Cette certification reconnaît la mise en œuvre d'un système de management unique commun à toute la compagnie (*Global Management System*). Les différentes organisations appliquent des processus identiques, disposent d'indicateurs communs, et utilisent les nouvelles technologies de l'information. L'ensemble de la documentation d'IBM est entièrement électronique. Elle est consultable par tous et à tout moment à travers le réseau intranet de l'entreprise. Pour IBM, travail d'équipe, implication et engagement sur la satisfaction du client constituent les paramètres à la base de la certification. Ils reflètent les points forts dont doit aujourd'hui disposer une entreprise qui veut pratiquer une politique de qualité totale. Il s'agit là d'un parcours de long terme qui demande des efforts permanents.

Source : site [www.fr.ibm.com](http://www.fr.ibm.com)

## Conclusion

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, et particulièrement dans sa seconde moitié, la qualité s'est considérablement enrichie. D'une logique d'inspection avec Taylor, elle passe par une logique de contrôle avec les premiers statisticiens, puis s'inscrit dans une démarche assurantielle et contractuelle, avant de trouver une sorte d'aboutissement à travers le concept de *qualité totale* (Total Quality Control). Chaque phase a apporté sa pierre à l'édifice, et aujourd'hui, la qualité totale se décline dans quatre directions : donner la priorité à la satisfaction du client, améliorer les processus de gestion, réduire les gaspillages et maîtriser les coûts, et enfin, obtenir l'engagement de tous les salariés de l'entreprise, des ouvriers aux dirigeants.

Réussir à concilier ces objectifs, notamment dans le cadre d'une concurrence internationale accrue, suppose l'utilisation d'outils, tant qualitatifs que quantitatifs. Ces derniers, présents depuis fort longtemps dans les entreprises, sont basés sur l'exploitation statistique de données et sur des techniques d'échantillonnage. Maîtrise statistique des processus, plans d'échantillonnage, histogrammes, diagrammes de Pareto permettent de repérer efficacement les dérives par rapport au régime de croisière de la production. De même, méthodes de déploiement de la fonction qualité, planification Hoshin, brainstorming et diagrammes causes-effets sont de célèbres illustrations de la première catégorie d'outils.

En réponse aux attentes des clients et à l'intensification de la concurrence, la normalisation vient compléter les moyens précédents. Tout en ne nuisant pas à l'objectif de flexibilité, elle apporte de la rigueur à l'entreprise dans la mise en œuvre de son management de la qualité. De plus, elle contribue efficacement à la rationalisation des processus de conception, de production et de commercialisation.

La recherche de la qualité totale devient alors vecteur d'intégration, dans l'entreprise et entre l'entreprise et ses partenaires.

### Thèmes de réflexion

- 1 – *Quels sont les avantages et les inconvénients du Statistical Process Control ? (correction p. 450)*
- 2 – *Analyser la pertinence pour l'entreprise de développer une fonction qualité. (correction p. 450)*
- 3 – *La certification est-elle de la « poudre aux yeux » pour les clients ?*
- 4 – *« Made in Japan » a-t-il toujours été synonyme d'excellence ?*
- 5 – *Flexibilité et normalisation : un paradoxe ?*

### Exercices

#### Exercice 1

Durant 20 jours ouvrés, une entreprise effectue un contrôle qualité de la fabrication de son produit X, par constitution d'échantillons aléatoires. On vous fournit les résultats suivants et on vous demande votre avis.

N° du jour	Taille de l'échantillon	Nombre de produits défectueux
1	100	8
2	100	8
3	100	10
4	100	7
5	100	9
6	250	30
7	250	15
8	250	14
9	250	16
10	250	28
11	100	12
12	100	8
13	100	8
14	100	12
15	100	8
16	50	10
17	50	12
18	50	12
19	50	13
20	50	12

*Exercice 2*

(Extrait de l'examen, sept. 2000, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, MSG)

Vous êtes le responsable technique de la qualité dans l'entreprise GSM et vous souhaitez vérifier si le réglage de la machine qui fabrique les roulements à bille est correct. En état normal de marche, et à raison de 1 600 unités à l'heure, cette machine produit des roulements à bille dont la masse suit une loi normale de moyenne  $m = 1,25$  kg et d'écart type  $\sigma = 0,05$  kg.

À un moment donné, vous prélevez 40 roulements à bille à la sortie de la machine et vous constatez que leur masse moyenne est de 1,245 kg. À l'occasion d'une seconde vérification, quelques heures plus tard, vous décidez cette fois de prélever 400 roulements à bille et vous constatez que leur masse moyenne est de 1,261 kg. Avec un seuil de signification de 5 %, que concluez-vous de ces deux expériences ? Quelle(s) décision(s) allez-vous prendre ?

# CORRIGÉS

## Chapitre 1

### Thèmes de réflexion

1 – Quelques éléments de réponse :

- la conception systémique insiste sur la perception du système dans son intégralité, donc sur la nécessité de pratiquer un management global de l'organisation ; cette vision s'oppose à la conception analytique qui décompose les éléments, les isole les uns des autres et privilégie donc un mode de management local ;
- elle insiste sur le rôle des flux dans l'organisation et entre les firmes : à l'heure actuelle, le développement d'une logistique intégrée s'appuie sur une vision systémique ;
- elle prend en compte l'environnement donc l'interaction entreprise-environnement, ce qui est primordial si l'on veut faire de la fonction de production une arme stratégique ;
- elle met en avant les synergies possibles entre les éléments ;
- elle reflète mieux la complexité de l'organisation ;
- elle se concrétise enfin par l'utilisation de logiciels intégrés, dont le but ultime est d'améliorer la fluidité de la circulation des informations à l'intérieur de l'entreprise, mais aussi entre la firme et ses partenaires.

2 – Quelques éléments de réponse :

- la globalisation s'analyse comme un processus de mondialisation des activités de l'entreprise et se manifeste par une interdépendance des systèmes productifs sur une grande échelle (européenne, continentale ou mondiale) ;
- cette globalisation résulte notamment de facteurs de nature économiques (libéralisation économique, essor des nouveaux pays industrialisés), sociaux (tendance à la standardisation des goûts) et technologiques (développement des nouvelles technologies de l'information et la communication) ;

- la globalisation a pour conséquence l'exacerbation de la concurrence et la modification des modalités traditionnelles de concurrence ;
- il s'en suit une complexification des objectifs de la fonction de production ; on passe d'un objectif classique de productivité à des objectifs difficilement conciliables tels que la flexibilité, la qualité, les délais et la maîtrise des coûts ; l'objectif traditionnel de productivité n'est donc pas abandonné, mais il est plus difficile à réaliser car il n'est plus unique ;
- de même, les modalités traditionnelles de management de l'organisation sont remises en cause : le management devient plus global et plus intégré notamment grâce aux NTIC ;
- enfin, les relations avec l'environnement se modifient ; la coopération et le partenariat prennent le pas sur des relations de concurrence et de subordination.

## Chapitre 2

### Thèmes de réflexion

1 – L'objectif de cette question consiste à éviter les interprétations abusives, fréquentes, dans le domaine de la gestion des flux. En effet, il est traditionnellement admis que les méthodes de type MRP sont des méthodes en flux poussés et les méthodes de type *kanban* correspondent à des flux tirés. Est-ce si évident ?

Une fois encore, c'est le délai client qu'il faut examiner. Si le client n'est pas prêt à attendre le produit pendant la totalité du délai d'obtention, les entreprises doivent anticiper les demandes des clients, au minimum dans la partie amont de leur processus productif (production de composants standardisés et modulaires). Dans le cas contraire, l'entreprise a le loisir de réaliser une fabrication à la commande. Face à cette comparaison, on comprend que le MRP peut aussi bien être une méthode en flux poussés qu'en flux tirés :

- si le délai client est inférieur au délai d'obtention, le MRP fonctionne en flux poussés, au moins sur toute la partie amont du processus productif : soit pour un composant intermédiaire, un module ou le produit fini lui-même, on estime la demande et on constitue un stock. La quantité à fabriquer reflète une commande future estimée et non une commande réelle présente ou passée ;
- si le délai client est supérieur au délai d'obtention, la méthode MRP peut s'assimiler à du flux tiré : c'est la commande du client, parfaitement identifiée qui déclenche le processus d'éclatement de la nomenclature du produit fini vers les niveaux inférieurs.

Il est logique que le MRP soit assimilé à une méthode en flux poussés car dans la réalité, on rencontre davantage la première situation que la seconde. Le même raisonnement peut être mené pour le *kanban*. Le principe du *kanban* est simple ; cela consiste à reconstituer le stock d'un produit, stock dans lequel un « client » (final, ou poste aval) vient puiser uniquement en fonction de ses besoins. En réalité, lorsque le délai client est court, à moins de faire attendre le « client » placé en aval, cette méthode ne permet pas de fabriquer ou d'approvisionner expressément pour le client qui se manifeste à l'instant  $t$ , mais pour les clients qui consommeront à l'instant  $t + d$  (où  $d$  est un délai qui varie selon la place du « client »). Ainsi, la quantité à fabriquer qui permet de reconstituer un stock reflète la consommation passée et non le besoin réel d'un client<sup>1</sup>. Finalement, cela ressemble beaucoup à un système de flux poussés et cela explique pourquoi ce type d'organisation est recommandé lorsque les consommations sont régulières. Face à l'importance

1. On dit parfois que le flux tiré est « une méthode caractérisée par des ordres de livraison, coordonnés aux commandes réelles commerciales, ou en remplacement de consommations réelles pour exécuter les opérations. » Dictionnaire Logistique SOGEDAC.

(et à la médiatisation) de cette technique, nous lui accorderons une place de choix lors du chapitre consacré au juste-à-temps.

Exemple : Les pièces de rechange chez Peugeot

Chez Peugeot, le système RECOR (REnouvellement de CONsommation Réelle) illustre la technique des flux tirés dans le domaine des pièces de rechange automobiles. La première consommation de pièces d'un conteneur génère un ordre de renouvellement au fournisseur. Ce dernier doit livrer les pièces dans un délai fixe appelé temps de retour. Le système RECOR fut « inventé » par Peugeot pour franciser le système *kanban*.

Il existe de véritables méthodes de flux tirés, comme par exemple la méthode dite à *flux synchrones*. Il s'agit de recevoir le composant dont on a besoin, au moment et à l'endroit où l'on en a besoin. Le flux synchrone ne consiste, ni à se faire livrer un composant destiné à remplacer un composant déjà consommé (*kanban*), ni à anticiper une consommation future estimée et incertaine (MRP). Ce point fera l'objet de développements dans le chapitre consacré à la logistique. En effet, se développe depuis quelques années, une volonté de tendre les flux, pour bénéficier le plus possible des avantages du zéro-stock.

### Exercice 1

#### 1 – Besoins nets et ordres de lancement

DRK - 01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Besoins bruts		0	0	0	50	100	150	0	150	100
Stocks	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Besoins nets		0	0	0	50	100	150	0	150	100
Ordres montage		0	0	50	100	150	0	150	100	

DRZ - 5 000	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Besoins bruts		0	0	0	60	70	0	180	50	250
Stocks	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Besoins nets		0	0	0	60	70	0	180	50	250
Ordres montage		0	0	60	70	0	180	50	250	

Composant A	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Besoins bruts		0	0	160 <sup>(2)</sup>	270	300	180	350	450
Stocks	120	120	120	60 <sup>(3)</sup>	90	90	10	60	10
Besoins nets		0	0	40 <sup>(4)</sup>	210	210	90	340	390
O.F. théoriques		0	40	210	210	90	340	390	
O.F. réels		0	100 <sup>(1)</sup>	300	300	100	400	400	

1 : 100 = première quantité multiple de 100 permettant de couvrir les besoins net de 40.

2 : 160 = (2 × 50) + 60 (50 et 60 sont les ordres de montage de DRK et DRZ).

3 : Stocks = 120 + 100 – 160 = 60.

4 : 120 – 160 = – 40 (donc 40 de besoins nets).

Composant B	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Besoins bruts		0	0	50	100	150	0	150	100
Stocks	110	110	110	60	0	0	0	0	0
Besoins nets		0	0	0	40	150	0	150	100
O.F.		0	0	40	150	0	150	100	

Pièce X	0	1	2	3	4	5	6	7
Besoins bruts		0	200	600	600	200	800	800
Stocks	320	320	120	100	100	100	100	100
Besoins nets		0	0	580	600	200	800	800
Ordres d'achat		580	600	200	800	800		

Pièce Y	0	1	2	3	4	5	6	7
Besoins bruts		0	100	380	600	100	700	600
Stocks	130	130	30	0	0	0	0	0
Besoins nets		0	0	350	600	100	700	600
Ordres d'achat		350	600	100	700	600		

2 – Le stock de sécurité est justement fait pour absorber les demandes non prévues, ou au moins une partie de ces demandes. Ainsi, en semaine 7, le stock de DRK – 01 sera de 10 unités (60 – 50). Tant que les prévisions sont respectées, il est possible de maintenir le stock à son niveau de sécurité ; dès qu'il y a erreur, le stock diminue au-dessous du stock de sécurité. En semaine 8, pour retrouver le stock à son niveau de 60 unités, il faudrait augmenter les besoins nets de 50 (ils passeraient de 150 à 200 unités). Cela entraîne un ordre de montage de 200 en début de semaine 7, ce qui est encore possible si on réagit vite à la commande supplémentaire.

Mais pour être assemblés en semaine 7, les 50 unités supplémentaires de DRK – 01 supposent la présence de 100 composants A supplémentaires disponibles et de 50 composants B supplémentaires disponibles. Or ces composants supplémentaires n'existent pas puisqu'aucun ordre d'achat supplémentaire de pièces X et Y en semaine 4 n'a pu être lancé : en effet, on ignorait la commande de la semaine 7 ! On ne peut même pas lancer une production supplémentaire sur stock car le stock de composants B en fin de semaine 6 est nul.

Si on imagine des ordres d'achat pour X et Y en semaine 7, c'est-à-dire dès que l'on connaît la commande non anticipée, l'accumulation des décalages conduit les DRK – 01 supplémentaires à entrer en stock en semaine 11. Ce n'est donc qu'à partir de là que le niveau du stock de DRK – 01 va retrouver son niveau de sécurité.

L'existence du stock de sécurité a permis à l'entreprise, en semaine 7, de satisfaire son client sans le faire attendre. Entre la semaine 7 et la semaine 11, une commande non prévue supérieure à 10 unités ne pourra pas être honorée dans d'aussi bonne condition. Finalement, la vente non prévue de 50 DRK – 01 n'a aucune conséquence immédiate, mais place l'entreprise dans une situation de relative fragilité.

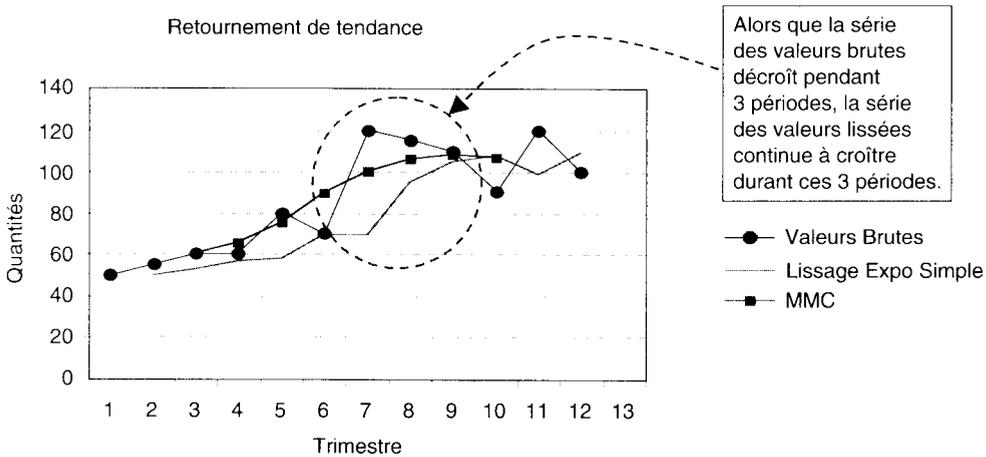
Exercice 2

On calcule aisément les MMC :

Trim.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VB	50	55	60	60	80	70	120	115	110	90	120	100
MMC			60	65,6	75	89,4	100	106,3	108,8	106,9		

On a déjà effectué dans le cours (chap.2, section 3, § 4.2, tableau 2.17) les calculs nécessaires au lissage exponentiel.

Comme l'indiquent parfaitement les graphiques suivants, avec un modèle MMC ou LES, un retournement de tendance à une date  $t$  entraîne une *mauvaise prévision* en  $t$  et  $t + 1$ .



Très peu d'outils prennent correctement en compte les retournements de tendance et ceux qui existent sont assez complexes. C'est pourquoi les responsables des prévisions ne doivent jamais oublier de compter sur leur « intuition », sur leur expérience et sur leur capacité à suivre et anticiper le marché.

Exercice 3

1 – Le tableau de coûts suivant permet de définir la stratégie optimale ; cette dernière consiste à lancer le 1<sup>er</sup> jour 280 unités, puis le 5<sup>e</sup> jour 310 unités et enfin le 8<sup>e</sup> jour 360 unités. Le coût minimum est de 588 €.

2 – Puisque le coût de possession est calculé sur la base du prix de revient, plus ce dernier augmente, plus le coût de stockage augmente. En valeur relative, l'importance du coût de lancement va donc s'affaiblir considérablement : il est probable que les regroupements coûtent bien plus qu'ils ne rapportent. Ainsi, il y a de grandes chances pour que l'atelier revienne à la règle du lot pour lot.

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B.N.	70	70	70	70	70	120	120	120	120	120

1	120	134	162	204	260	380	524	692	884	1 100
2		240	254	282	324	420	540	684	852	1 044
3			254	268	296	368	464	584	728	896
4				282	296	344	416	512	632	776
5					324	348	396	468	564	684
6						380	404	452	524	620
7							464	488	536	608
8								516	540	588
9									572	596
10										644

Exercice 4

Dans un premier temps, il faut calculer le prix de revient des produits finis *sans commonalité*, telle que la nomenclature actuelle le permet. Il s'agit d'un calcul itératif ascendant, du plus bas niveau vers le niveau 0 des produits finis. En effet, il faut avoir calculé le coût de revient des pièces pour pouvoir déterminer le coût de revient des sous-modules, et ainsi de suite.

Le coût de revient d'une pièce  $P_i$  s'obtient en additionnant le coût des matières premières incorporées dans  $P_i$  et le coût unitaire de  $P_i$  (main-d'œuvre et petites fournitures). Ainsi, il est encore possible d'utiliser l'écriture matricielle pour simplifier les calculs. Afin d'effectuer les *simulations ultérieures*, nécessaires à la prise en compte de la commonalité, nous avons construit une feuille de calcul sur Excel. Nous n'en donnerons que la première et la dernière étape et *invitons le lecteur à chercher les deux étapes intermédiaires*. Les matrices utilisées sont les transposées des matrices de la nomenclature.

Coût unitaire total des Pièces  $P_i$  :

	MP1	MP2	MP3		CU MP		CT MP		CU $P_i$		CU total		
P1	5	2	3	×	MP1	0,7	=	4,30	+	5	=	9,30	P1
P2	2	4	8		MP2	0,1	=	3,40	+	8	=	11,40	P2
P2	5	2	4		MP3	0,2	=	4,50	+	6	=	10,50	P3

Le coût unitaire total des pièces servira à son tour pour calculer le coût unitaire des sous-modules.

Coût de revient unitaire des produits finis :

Dans cet exemple, il est possible d'envisager, sans trop de modifications, une commonalité qui toucherait d'abord les pièces, puis les sous-modules.

	M1	M2	M3		CU M <sub>i</sub>	CT M <sub>i</sub>	CU PF	CU total	
W	1	1	1	x	M1 109,70	351,5	17	368,5	W
X	1	0	1		M2 138,30	213,2	13	226,2	X
Y	0	1	1		M3 103,50	241,8	12	253,8	Y
Z	1	1	0			248,0	12	260,0	Z

En effet, comme P1 et P3 ont presque le même profil (cf. nomenclature matricielle du cours), on admettra qu'il est possible de remplacer P1 par P3 dans la nomenclature de niveau 3/4. Pour cela, on fait l'hypothèse que la pièce P3 remplit au moins les mêmes fonctions que P1. Dans la nomenclature, le coefficient 3 marqué d'une astérisque est remplacé par 4. Enfin, il ne faut pas oublier de modifier le coût unitaire de P1, qui passe de 5 à 6, puis que 6 est le coût unitaire de P3.

De même, comme SM1 et SM3 ont presque le même profil, on admettra qu'il est possible de remplacer SM1 par SM3 dans la nomenclature de niveau 2/3. Dans la nomenclature, le coefficient 0 marqué d'une astérisque est remplacé par 1. Le coût unitaire de SM1 doit aussi être modifié : il passe de 7 marqué à 8, coût unitaire de SM3.

Ces modifications entraînent une augmentation du coût de revient des produits finis. En effet, les pièces P3 et les sous-modules SM3 sont respectivement plus complets que P1 et SM1, et sont donc aussi plus coûteux à fabriquer. Finalement, les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Produits finis	Coût de revient Sans commonnalité (base)	Variation du coût de revient en %	
		Avec commonnalité uniquement sur les Pièces	Avec commonnalité sur les Pièces et les Sous-modules
W	368,5	+ 4 % (382,9)	+ 10 % (405,9)
X	226,2	+ 5 % (238,2)	+ 15 % (261,2)
Y	253,8	+ 3 % (261,0)	+ 7 % (272,5)
Z	260,0	+ 4 % (269,6)	+ 8 % (281,1)

Remarque : la construction de ce tableau suppose que tous les calculs ascendants de coûts ont préalablement été effectués avec les nouveaux coefficients et les nouveaux coûts unitaires. L'utilisation de la feuille de calcul précédente facilite ce travail.

On constate que plus la commonnalité est pratiquée à des niveaux élevés, plus elle est coûteuse (sous l'hypothèse vraisemblable que les composants remplacés le sont par des composants plus complets mais plus chers).

Pour prendre une décision, il faut comparer ces augmentations avec les réductions de coûts et les avantages que cette méthode implique :

- gestion simplifiée du fait de la réduction de la variété en amont ;
- plus grande lisibilité des nomenclatures pour les employés ;
- réduction probable des coûts de stockage (par exemple, sous certaines conditions souvent réunies, le stock de sécurité d'un produit de type P3 est inférieur à la somme des stocks de sécurité de deux produits de type P1 et P3) ;
- réduction probable des coûts de lancement en production, qui seront moins nombreux puisqu'on fabrique davantage de P3 et SM3.

## Chapitre 3

### Exercice 1

1 – Il s'agit d'une politique de gestion de stock *calendaire* : les commandes à l'entreprise sont effectuées à intervalles réguliers. Par rapport aux indications fournies dans l'énoncé, on peut préciser que c'est un modèle pour des *stocks à rotation nulle*. Il ne peut y avoir de stock en fin de période (ici, la période est le jour). C'est aussi un modèle où les coûts de gestion de stock sont *non proportionnels au temps*. Enfin, remarquons que la demande journalière est une *variable aléatoire continue*.

2 – Le produit étant rapidement périssable et faiblement encombrant, on supposera que le coût de possession du stock est négligeable, notamment face au coût lié à une rupture, lorsque la demande ne peut être satisfaite et au coût lié à des invendus, lorsqu'il reste du Xylithol en fin de journée.

Comme dans le cours, on notera :

- $C_R$  : le manque à gagner unitaire en cas de rupture de stock (encore appelé coût de pénurie). Il est logique de considérer que  $C_R = 1,3$  k€ pour un centilitre,
- $C_I$  : le coût d'un centilitre invendu, et  $C_I = 0,32$  k€ pour un centilitre.

3 – La quantité produite chaque matin, notée  $X$ , qui minimise le coût de gestion doit vérifier l'égalité suivante :

$$F(X) = \frac{C_R}{C_R + C_I} \Leftrightarrow F(X) = \frac{1,3}{1,3 + 0,32} = 0,802$$

où  $F$  est la fonction de répartition de la demande ; elle s'écrit donc :

$$F(X) = p(D \leq X) = p\left(T \leq \frac{X - 450}{50}\right)$$

On doit donc résoudre :

$$p\left(T \leq \frac{X - 450}{50}\right) = 0,802$$

Après lecture de la table de la loi normale :

$$\frac{X - 450}{50} = 0,85$$

$$\rightarrow X = 492,50$$

Ainsi, le coût de gestion est minimum pour un niveau de fabrication journalier de 492,50 centilitres.

4 – Compte tenu d'une demande moyenne de 450 cl, le stock de sécurité s'établit à :

$$492,50 - 450 = 42,50 \text{ centilitres}$$

5 – Le problème consiste à se demander quel doit être le niveau de la production journalière permettant d'avoir 10 % de chance d'être en rupture (le coût d'opportunité lié à une vente manquée est comparativement bien plus élevé que le coût réel d'un invendu). Il faut donc résoudre :

$$p(D > X) = 10 \%$$

$$\Leftrightarrow p(D \leq X) = 90 \%$$

C'est-à-dire :

$$\Leftrightarrow p\left(T \leq \frac{X-450}{50}\right) = 0,90$$

$$\Leftrightarrow \frac{X-450}{50} = 1,28$$

$$\rightarrow X = 514$$

Avec une production journalière de 514 centilitres, l'entreprise a 90 % de chances que la demande de Xylithol lui soit inférieure.

6 – Déterminons le nombre moyen de jours de rupture par an, sachant que :

- le nombre de jours ouvrable dans l'année est de 280 ;
- la probabilité moyenne d'être en rupture de stock dans une journée est de 10 % (prolongement de la question 5) ;
- on fera implicitement l'hypothèse que les ventes de chaque jour sont indépendantes les unes des autres ;
- chaque jour ouvrable, soit il y a rupture avec la probabilité  $p = 0,1$ , soit il n'y a pas rupture avec la probabilité  $1 - p = 0,9$ .

On peut donc conclure que le risque de rupture suit une loi binomiale de paramètres  $n = 280$  et  $p = 0,10$ . On sait que l'espérance d'une loi binomiale est égale à  $n.p$ . Donc, ici, il y a en moyenne  $280 \times 0,10 = 28$  jours ouvrables où on constate une rupture.

Remarque : si le taux de rupture journalier considéré est 19,80 %, le nombre de jours de rupture est égal à 55 ( $280 \times 0,198$ ). Cette stratégie est plus économique pour l'entreprise puisqu'elle se base sur le niveau de production qui minimise le coût de gestion, mais elle a comme inconvénient de placer plus souvent l'entreprise en position désagréable face à ses clients.

### Exercice 2

1 – Le stock moyen

Il doit tenir compte du stock de sécurité, maintenu à 300 toute l'année :

$$S_M = \frac{(q + 300) + 300}{2} = \frac{1}{2}q + 300$$

2 – La fonction de coût

- La demande annuelle est de  $50 \times 360 = 18\,000$  unités.
- Le coût fixe de transport (300) s'ajoute au coût de passation (100).
- Les frais de transports variables sont payés quel que soit le volume de la livraison : ils sont donc indépendants de la politique de stockage.
- Le volume sur lequel porte le coût de possession est le stock moyen.

$$CT(q) = \left( (100 + 300) \times \frac{18\,000}{q} \right) + \left( \left( \frac{1}{2}q + 300 \right) \times 0,04 \times 360 \right) \quad (\text{formule 1})$$

On acceptera aussi :

$$CT(q) = \left( (100 + 300) \times \frac{18\,000}{q} \right) + \left( \left( \frac{1}{2}q + 300 \right) \times 0,04 \times 360 \right) + (0,1 \times 18\,000) \quad (\text{formule 2})$$

## 3 – Politique optimale

$$\frac{\partial CT(q)}{\partial q} = 0 \Leftrightarrow -\frac{400 \times 18\,000}{q^2} + \frac{1}{2} \times 0,04 \times 360 = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{7\,200\,000}{q^2} = 7,20 \rightarrow q^* = 1\,000$$

Il faut maintenant tenir compte des différentes contraintes, de manière logique :

- contrainte 1 : capacité maximale = 350 m<sup>2</sup> soit 1 400 produits,
- contrainte 2 : les quantités doivent être des multiples de 600.

La valeur optimale  $q^* = 1\,000$  satisfait la 1<sup>ère</sup> contrainte ( $1\,000 + 300 < 1\,400$ ), mais pas la seconde.

Il faudra donc choisir une des deux valeurs qui l'encadrent : 600 ou 1 200.

Mais  $1\,200 + 300 > 1\,400$  donc  $q = 1\,200$  n'est pas envisageable.

Valeurs optimales	Stock Maximum	Capacité maximale de stockage	CT (formule 1)	CT (formule 2)
$q = 600$	900	1 400	20 640	22 440
$q^* = 1\,000$	1 300		18 720	20 520
$q = 1\,200$	1 500		18 960	20 760

La politique optimale consiste donc :

- à définir une quantité de 600 produits par cde ;
- pour un coût de 20 640 € (ou 22 440 €) ;
- 30 fois par an (car  $18\,000/600 = 30$ ) ;
- c'est-à-dire tous les 12 jours (car  $360/30 = 12$ ) ;
- dès que le stock est égale à 400 (car le stock d'alerte est égal aux 300 unités du stock de sécurité, auxquelles s'ajoutent les unités de 2 jours de consommation).

*Exercice 3*

L'influence sur la rentabilité sera très difficile à apprécier puisque plusieurs éléments jouent en sens contraire :

- toutes choses égales par ailleurs, le coût moyen sera plus élevé si toute la préparation est faite au restaurant ;
- le coût total minimum n'est pas forcément un objectif prioritaire si le décisionnaire se focalise sur la qualité des prestations ;
- le regroupement, en faisant baisser le niveau du stock de sécurité pour un même niveau de service (par rapport à une gestion séparée), conduit le chef à préparer une quantité plus faible ; le coût total sera moins élevé qu'on aurait pu le supposer au départ.

Détermination du stock de sécurité pour un niveau de service de 95 % :

si gestion séparée (magasin + restaurant) :

$$STS = (1,65 \times 6,76) + (1,65 \times 2) = 14,5 \text{ kg}$$

si gestion commune :

$$STS = 1,65\sqrt{6,76^2 + 2^2} \approx 11,6$$

En effet, lorsque deux variables aléatoires indépendantes  $X_1$  et  $X_2$  suivent respectivement  $N(m_1; \sigma_1)$  et  $N(m_2; \sigma_2)$ , leur somme est une variable aléatoire notée  $X_1 + X_2$  qui suit une loi normale de paramètres  $m$  et  $\sigma$  tels que :

$$m = m_1 + m_2 \quad \text{et} \quad \sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Ainsi, rassembler les deux préparations permet de réduire la quantité préparée chaque nuit d'environ 3 kg. Tout en respectant le même niveau de service. On peut facilement montrer que :

$$\forall (\sigma_1, \sigma_2) \in \mathbb{R}_+^2 \quad \sigma_1 + \sigma_2 > \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

À retenir : pour une même demande moyenne globale, le stock de sécurité sera toujours inférieur lorsque les deux lieux de stockage seront regroupés (ceci est généralisable). Lorsqu'une entreprise décide de regrouper plusieurs entrepôts régionaux, elle est à même de réduire son stock de sécurité global.

#### Exercice 4

Dans un premier temps, nous considérons les ventes annuelles totales (4 000 unités) et les paramètres (prix, frais de passation, taux de possession) pour déterminer la quantité optimale, en dehors de toute considération de saisonnalité des ventes. Dans un environnement certain, il est possible d'utiliser le raisonnement associé à la formule de Wilson. Dans ce cas précis, à cause de l'impératif du stock de sécurité fixé à 25 % de la quantité commandée, on ne peut pas « plaquer » la formule classique. En effet, le stock moyen est spécifique :

$$SM = \frac{SI + SF}{2} = \frac{(q + 0,25q) + 0,25q}{2} = \frac{3}{4}q$$

Il faut donc chercher à optimiser la fonction suivante :

$$CT(q) = \left[ \frac{4\,000}{q} \times 225 \right] + \left[ \left( \frac{3}{4}q \right) \times 20 \times 6\% \right]$$

Finalement, cela donne :

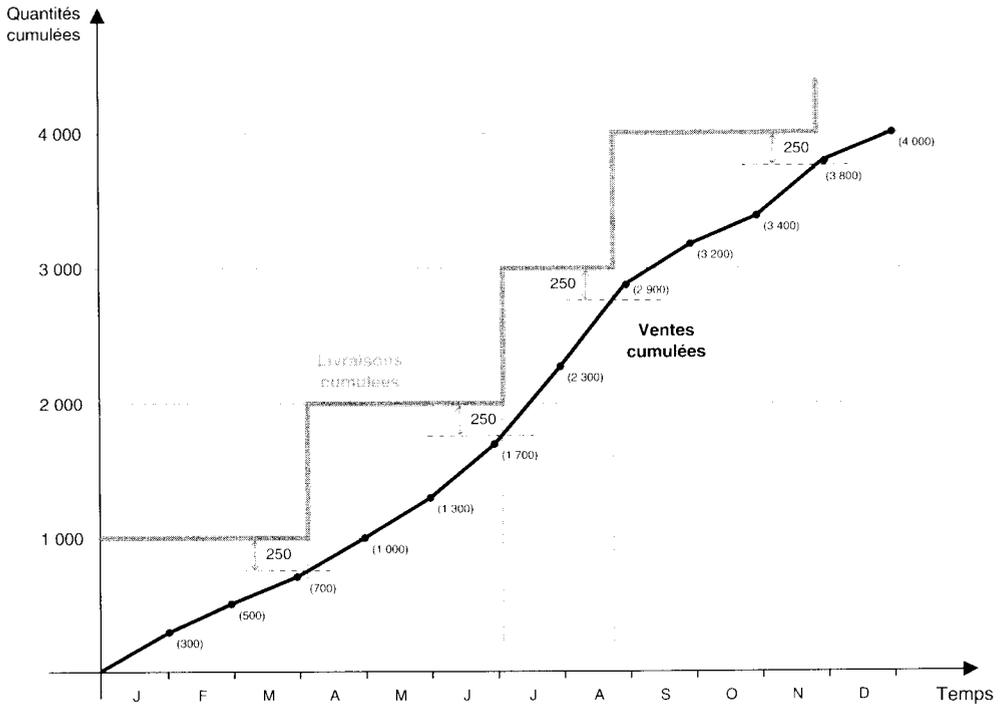
$$q^* = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{4\,000 \times 225}{20 \times 6\%}} = 1\,000$$

Ducharme passe donc 4 commandes par an de 1 000 unités. Il s'agit de la politique *théorique* qui minimise le coût total de gestion du stock qui s'établit à 1 800 € (dont 900 pour le coût de possession). Elle disposera d'un stock de sécurité de 250 unités.

Dans un second temps, la saisonnalité doit être intégrée au raisonnement. En effet, les ventes ne sont pas régulières dans l'année. En revanche, pour fournir une réponse, il faudra bien considérer qu'elles sont régulières dans le mois. La technique généralement utilisée dans ce type de problème appelé « *budgetisation des approvisionnements* » (assez fréquent dans la réalité), consiste à travailler sur les données cumulées des ventes et des livraisons, en s'appuyant sur un graphique. La méthode peut être décrite simplement :

- tracer la série des ventes cumulées ;
- indiquer le niveau du stock initial (ici : 1 000 unités) ;
- tracer un trait horizontal à partir du stock initial ;

- à la date où ce trait est supérieur de 250 unités exactement à la courbe des ventes cumulées, on doit prévoir une livraison ;
- on obtient donc par soustraction du délai de livraison la date de commande ;
- lorsque la livraison a lieu, la courbe des livraisons cumulées augmente immédiatement de 1 000 unités ;
- tracer un trait horizontal à partir de cette nouvelle valeur, etc.



Une fois l'année entière étudiée, l'entreprise dispose des dates de livraison et de commande. Si le graphique est précis (tracé à partir d'un logiciel), il fournit des indications fiables. En cas de tracé manuel, il faut généralement compléter l'analyse par la détermination algébrique des dates de livraison. Par exemple :

- en avril, les ventes cumulées sont passées de 700 (fin mars) à 1 000 ; la livraison doit donc avoir lieu en avril ;
- la consommation journalière d'avril est de 10 unités ;
- l'entreprise atteindra donc le stock de sécurité au bout de 5 jours ;
- la livraison interviendra le 5 avril au soir ;
- la commande sera passée le 31 mars au soir.

Sur la base d'un raisonnement identique, on trouve une livraison :

- le 2 juillet en milieu de journée ;
- le 23 août au soir (sur la base d'un mois de 31 jours) ;
- le 26 novembre au soir.

Calculons avec précision les coûts associés à cette politique de stockage :

Mois	Ventes	jours	Stock Initial	Stock Final	Stock Moyen	Coût de possession
janvier	300	31,00	1 000	700	850	87,8
février	200	29,00	700	500	600	58,0
mars	200	31,00	500	300	400	41,3
avril	300	5,00	300	250	275	4,6
		25,00	1 250	1 000	1 125	93,8
mai	300	31,00	1 000	700	850	87,8
juin	400	30,00	700	300	500	50,0
juillet	600	2,50	300	250	275	2,3
		27,50	1 250	700	975	89,4
août	600	23,25	700	250	475	36,8
		7,75	1 250	1 100	1 175	30,4
septembre	300	30,00	1 100	800	950	95,0
octobre	200	31,00	800	600	700	72,3
novembre	400	26,25	600	250	425	37,2
		3,75	1 250	1 200	1 225	15,3
décembre	200	31,00	1 200	1 000	1 100	113,7
Total	4 000	365,00				915,7

Ainsi, le coût de possession exact est de 915,7 €, très proche de la valeur théorique établie précédemment. Étant donné que l'entreprise passe 4 commandes : le coût total est de 1 816 €.

## Chapitre 4

### Thèmes de réflexion

1 – Deux raisons expliquent le fait que le JAT puisse être appréhendé comme un système de gestion de la production relativement *simple* :

- d'un point de vue très général, la philosophie du JAT est basée sur des principes qui découlent du bon sens ;
- pour les acteurs de l'industrie, le JAT est souvent assimilé à une technique de contrôle des niveaux de stocks.

Or, ce n'est pas parce qu'un principe découle du bon sens qu'il est facile à mettre à l'œuvre en pratique. De plus, assimiler le JAT à un outil de réduction des stocks est non seulement réducteur mais faux. En effet, premièrement, le JAT est une philosophie, ce n'est pas un outil. Deuxièmement, la réduction des stocks n'est qu'une des conséquences de cette philosophie et on ne peut pas assimiler cause et conséquence.

Pour mettre en œuvre de façon efficiente les principes du JAT dans l'entreprise un certain nombre de *conditions* doivent être réunies. Ces conditions sont restrictives ce qui laisse supposer que la simplicité n'est qu'apparente. Parmi ces préalables, certains sont essentiels comme :

- « *coller à la demande* », c'est-à-dire produire seulement ce que souhaite la clientèle lorsqu'elle le souhaite, sans constituer de stocks ;
- être très flexible pour, d'une part, répondre dans les moindres délais à la demande et, d'autre part, produire de petites quantités si c'est nécessaire ;
- éviter les pertes de temps en accélérant le temps de changement de série et en limitant au maximum la centralisation des lieux de stockage ;
- maîtriser la qualité de la production et la fiabilité de l'outil de production à partir d'une maintenance totale des équipements ;
- disposer d'un personnel polyvalent et bien formé ;
- simplifier les processus ;
- collaborer avec les clients, les fournisseurs et les sous-traitants et coordonner leurs actions.

Si le JAT vise à obtenir par une réduction des coûts l'accroissement de sa compétitivité, il doit contraindre l'entreprise à s'orienter vers un grand nombre de directions. En effet, c'est de la lutte contre les différentes formes de gaspillage que résulte cette réduction des coûts. Elle implique donc la maîtrise simultanée du temps, des équipements et des ressources humaines ce qui se traduit par une montée de la complexité. C'est cette combinaison qui est difficile à mettre en place car elle suppose deux éléments :

- une grande *rigueur* dans l'application des principes de gestion dans l'entreprise ;
- une modification culturelle et organisationnelle de l'entreprise.

2 – Aujourd'hui les entreprises sont de plus en plus *intégrées* car le mode de gestion qu'elles adoptent se fonde sur la gestion des processus. Or, la maîtrise des processus implique le développement d'une organisation transversale et transfonctionnelle privilégiant l'interaction entre les acteurs. Le décloisonnement des activités a pour conséquence l'intégration des fonctions et des différents services dans l'entreprise.

Toutefois, l'intégration verticale laisse aujourd'hui de plus en plus la place à l'externalisation des activités de l'entreprise. Des stratégies de partenariat se développent alors pour assurer la stabilité du système de gestion. Celles-ci impliquent l'éclatement des frontières de l'entreprise donc sa *désintégration*. La gestion des processus reste cependant au cœur des préoccupations des entreprises partenaires, ce qui se traduit par un fort degré de coordination donc d'intégration de leurs activités. Le développement de réseaux d'entreprises participe de cette logique d'intégration-désintégration des activités productives. Les NTIC supportent ce mouvement en assurant par une structure informatique et électronique commune, l'intégration électronique des transactions des entreprises.

### *Exercice 1*

1 – Détermination du TRS (Remarque : parmi toutes les informations, celle indiquant le nombre de jours ouvrés par mois n'a aucune utilité).

Le taux brut de fonctionnement s'établit facilement à : 88,9 % (480/540) (1)

Le temps de cycle théorique est de 1,2 minute par pièce mais il est en réalité de 1,5 minute par pièce. Ainsi, le taux net de fonctionnement est de 93,75 % et le ratio R est égal à : 80 %

Ainsi, le taux de performance s'établit à 75 % (80 % de 93,75 %) (2)

Le taux de qualité : 90 % (3)

Le TRS, résultat du produit de (1) par (2) puis par (3) est égal à 60 %

On retrouve ce taux si on divise 270 pièces (300 – 30) par 450<sup>1</sup>.

2 – Amélioration du ratio

Le premier réflexe, dans le cadre d'une réflexion en JAT, est de réduire le nombre de produits défectueux, afin d'arriver au « zéro défaut », ou à la « qualité totale ». En admettant qu'il soit possible d'arriver à un taux de qualité de 100 %, le TRS passe à 66,7 %. On peut supposer que cette maigre hausse nécessite d'importants efforts. En revanche, tenter d'améliorer simultanément la cadence réelle (48 pièces/h.), la production quotidienne (370 pièces/j.) et la qualité (10 produits défectueux), permet d'aboutir à un TRS de 80 %.

### Exercice 2

1 – Nombre optimal de *kanbans*

a – Les résultats intermédiaires sont (par référence au cours) :

$T = 5 + 10 + 5 + (3 \times 10) + 15 + 15 = 80$  minutes soit 1/6 d'une journée de travail

$D = 120$  et  $N = 10$

Ainsi, on doit trouver 2 *kanbans* car  $(120 \times (80/8 \times 60))/10 = 2$

b – Le temps de cycle suit une loi normale de moyenne 80 minutes et d'écart type 10 minutes. Il est classique de considérer que l'on se protège bien en prenant un stock de sécurité qui inclut 2-sigma. Ainsi, le temps de cycle moyen sera augmenté de 20 minutes.

Ainsi, on doit trouver 3 *kanbans* car  $(120 \times (100/(8 \times 60)))/10 = 2,5$

Le stock de sécurité est donc de 1 bac, soit 10 pièces.

c – Obligation de lots de production de 40 pièces

Dans ce cas,  $q = 4$  et  $d = 40$  minutes ou 1/12 d'une journée de 8 heures

Alors, le nombre de *kanban* passe à 5.

2 – Sous les hypothèses du a), cela conduit à  $K = 1,4$  et sous celles du c), on obtient  $K = 4,4$ . Comme il faut arrondir cette valeur à l'entier supérieur, la réduction du temps de cycle ne change rien dans les deux cas. Il faudrait que la réduction soit encore plus importante que 50 % pour que cela affecte le nombre de bacs en circulation.

## Chapitre 5

### Thèmes de réflexion

1.a – Non. En général, les négociations préalables à l'aspect logistique, sont toujours aussi rudes et dépendent à la fois du pouvoir de négociation des deux parties et des volumes globaux achetés.

1.b – Parce que l'industriel connaît bien ses produits et surtout parce qu'il est responsable d'un nombre de références qu'il maîtrise. En revanche, le distributeur aurait des milliers, voire des dizaines de milliers de prévisions à effectuer. Il est donc préférable que ce soit le fournisseur qui s'en charge.

2 – L'objectif de cette réorganisation autour d'un logiciel est triple :

– réaliser véritablement une gestion en flux tirés : cela permet de réduire les stocks en amont et de fournir exactement le véhicule souhaité au client ;

1. En 540 minutes, sans interruption, à raison de 50 pièces par heure, la production devrait effectivement s'établir à 450 pièces par jour.

- livrer le client plus rapidement en ramenant le délai moyen de livraison à 15 jours (alors qu'il était de deux mois) ;
- fournir aux concessionnaires des informations stratégiques leur permettant, par exemple, de réaliser des orientations commerciales parfaitement en phase avec la production.

Ainsi, plutôt que de réaliser leurs missions, souvent à l'aveugle, les vendeurs sont informés presque en temps réel des contraintes et des éventuelles difficultés des usines. Ils sont avisés des retards possibles sur tel ou tel modèle, et peuvent ainsi, éviter certaines réclamations qui nuisent à l'image de marque (par exemple, lorsqu'un vendeur s'engage sur une date de bonne foi et que la production ne suit pas !). Concrètement, le concessionnaire passe directement ses commandes auprès de Ford Europe, sur son terminal informatique connecté.

## Chapitre 6

### Thèmes de réflexion

1 – Avantages :

- il permet d'éviter qu'un lot entier ne soit perdu lorsque le procédé se dérègle dès le début ;
- il permet de réagir vite en cas de problème, et donc de minimiser les retards de livraisons aux clients ;
- il limite le coût de la non-qualité ;
- il responsabilise les opérateurs dans la mesure où ce sont souvent eux qui assurent le contrôle des produits en sortie machine.

Inconvénients :

- il suppose que les opérateurs aient quelques connaissances de base, donc qu'ils aient suivi des actions de formation ;
- l'organisation du travail en atelier doit tenir compte des temps d'arrêt de la production afin d'effectuer les mesures, de les porter sur une feuille de relevé, de les analyser ; cela ralentit la fabrication, même lorsque l'informatique décentralisée est utilisée par les opérateurs ;
- les stratégies de flux tirés et tendus peuvent ne pas se satisfaire des aléas causés par les arrêts successifs des machines, surtout lorsque le processus de fabrication est complexe et nécessite de multiples traitements ;
- il n'est pas certain que l'acheteur des produits ne souhaite pas, malgré le SPC, mettre en place un contrôle de la qualité en collaboration avec le fabricant (par exemple, par plan d'échantillonnage) ; dans ce cas, le producteur a le choix entre payer un double contrôle ou abandonner le SPC.

2 – J. Juran, dans son célèbre ouvrage *Quality Control Handbook*, établit un parallèle entre la fonction financière et ce que devrait être la fonction qualité. Au même titre que l'on s'interroge sur la façon d'obtenir de bons résultats financiers, l'entreprise doit s'interroger sur la façon d'atteindre un niveau satisfaisant de qualité. Juran suggère alors de mettre en œuvre, au sein d'une Fonction Qualité, trois processus de management :

- le *planning qualité* est chargé de développer les produits et services permettant de répondre le mieux possible aux attentes des clients, attentes que l'entreprise doit parfaitement maîtriser ;
- le *contrôle qualité* consiste à éviter que les centres de production ne s'éloignent pas des objectifs fixés ;
- enfin, l'*amélioration de la qualité* est une activité qui recherche les moyens et les méthodes en vue d'accroître la performance des processus de fabrication et la qualité des produits et services.

La fonction qualité, selon Juran, doit être présente dans toutes les entreprises, petites ou grandes. Aujourd'hui, toutes les grandes entreprises possèdent leur département qualité, qui se trouve fréquemment sous l'autorité immédiate de la direction générale. Souvent perçue comme une transversale, la fonction qualité est intégrée : elle « s'immisce » chez les fournisseurs et les sous-traitants pour contrôler leurs fabrications, elle « s'installe » chez les clients (revendeurs, distributeurs...) pour s'assurer que les dernières opérations du cycle productif satisfont parfaitement les consommateurs finals. L'importance prise ces dernières années par le client ne peut que renforcer ce phénomène. Reste à convaincre un bon nombre de petites entreprises que ces perspectives sont aussi adaptables à leur taille.

Selon J.-M. Gogue, les activités de la fonction qualité sont nombreuses ; en voici une liste non exhaustive :

- l'administration des revues de projet (réunions planifiées tout au long du développement d'un projet concernant la conception d'un produit) ;
- la qualification des produits (les premiers exemplaires d'une production sont soumis à des inspections et des essais) ;
- le contrôle des réparations et des rebuts en cours de production ;
- la gestion des programmes d'amélioration ;
- le contrôle des programmes de rappel des produits défectueux déjà achetés ;
- l'édition et la mise à jour des procédures qualité (manuels de qualité) ;
- l'audit qualité dans l'entreprise et chez les partenaires (clients, fournisseurs) ;
- la formation du personnel au management de la qualité.

### Exercice 1

L'objectif consiste à tracer le graphique de contrôle, afin de juger de la qualité de la fabrication du produit X. Pour cela, on appliquera les formules du cours données à l'occasion de la section 3, § 5. Les limites de contrôle s'obtiennent de la façon suivante :

- limite de contrôle inférieure :  $LC_I = p - 3\sigma$
- limite de contrôle supérieure :  $LC_S = p + 3\sigma$

avec :

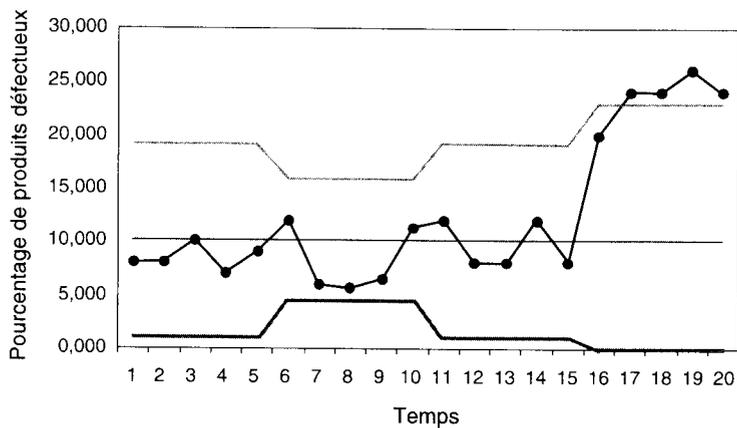
$$\sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

- où n correspond à la taille de l'intervalle considéré ;
- où p correspond à la proportion de produits défectueux, par rapport au nombre total de produits testés. Le tableau suivant montre que :  $p = 252/2\ 500 = 10,08 \%$

**Remarque :** un pourcentage négatif n'ayant guère de sens dans le cas présent, lorsque la  $LC_I$  calculée est négative, la valeur réelle affichée sera égale à zéro (cf. la courbe inférieure pour les 5 dernières valeurs).

Constat : alors que jusqu'au 15<sup>e</sup> jour, tout semblait bien se passer (la fabrication évoluait dans les limites de contrôles), on peut penser que l'équipement s'est dérégulé le 16<sup>e</sup> jour : le pourcentage de produits défectueux devient alors anormalement élevé et la fabrication passe hors contrôle. Comme il semble que la situation ne revienne pas à la normale, des mesures correctives sont à envisager.

N° du jour	Taille de l'échantillon	Nombre de produits défectueux	Pourcentage de produits défectueux	LC <sub>3</sub> en %	LC <sub>1</sub> en %
1	100	8	8,0	19,112	1,048
2	100	8	8,0	19,112	1,048
3	100	10	10,0	19,112	1,048
4	100	7	7,0	19,112	1,048
5	100	9	9,0	19,112	1,048
6	250	30	12,0	15,792	4,368
7	250	15	6,0	15,792	4,368
8	250	14	5,6	15,792	4,368
9	250	16	6,4	15,792	4,368
10	250	28	11,2	15,792	4,368
11	100	12	12,0	19,112	1,048
12	100	8	8,0	19,112	1,048
13	100	8	8,0	19,112	1,048
14	100	12	12,0	19,112	1,048
15	100	8	8,0	19,112	1,048
16	50	10	20,0	22,853	-2,693
17	50	12	24,0	22,853	-2,693
18	50	12	24,0	22,853	-2,693
19	50	13	26,0	22,853	-2,693
20	50	12	24,0	22,853	-2,693
Total	2 500	252	10,08		



Graphique de contrôle d'une proportion

## Exercice 2

La question correspond à la réalisation d'un *test bilatéral* : en effet, il est normal de considérer que la machine est mal réglée pour des masses trop faibles ou des masses trop fortes. Pour chaque vérification, il faut donc calculer la *zone d'acceptation*, notée  $[m_1; m_2]$ , et en déduire les zones de rejet. Comme il est précisé que la loi est normale et comme l'écart type est donné, cela ne pose

aucune difficulté. Dans ce cas, on sait que la distribution des moyennes d'échantillon obéit à une loi normale de paramètres  $\mu_m$  et  $\sigma_m$  avec :

$$\mu_m = \mu_{\text{pop}} = 1,25$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{pop}}}{\sqrt{n}} = \frac{0,25}{\sqrt{n}}$$

Lorsque l'échantillon est de taille 40 :

$$m_1 = 1,25 - 1,96 \frac{0,05}{\sqrt{40}} = 1,234$$

$$m_2 = 1,25 + 1,96 \frac{0,05}{\sqrt{40}} = 1,265$$

Puisque la moyenne de l'échantillon (1,245 kg) appartient à la zone d'acceptation, on accepte l'hypothèse selon laquelle cet échantillon peut être considéré comme étant tiré d'une population dont la moyenne serait égale à 1,25 kg, avec une chance de se tromper assez faible (5 %). D'après ce résultat, la machine serait correctement réglée et aucune intervention n'est à prévoir.

Avec un échantillon de 400, le raisonnement est le même mais les résultats sont différents. En effet, la zone d'acceptation se rétrécit et on trouve :

$$m_1 = 1,25 - 1,96 \frac{0,05}{\sqrt{400}} = 1,245$$

$$m_2 = 1,25 + 1,96 \frac{0,05}{\sqrt{400}} = 1,255$$

La moyenne de l'échantillon (1,261 kg) est maintenant située hors de la zone d'acceptation (on dit : dans la région critique du test), ce qui conduit à rejeter l'hypothèse d'un fonctionnement correct de la machine, toujours avec de faibles chances de faire une erreur de diagnostic (5 %). La qualité de ce diagnostic est meilleure puisque la taille de ce dernier échantillon est dix fois supérieure à celle du premier. La décision consistera donc à modifier les réglages de la machine, qui a tendance à fabriquer des roulements à bille de masse légèrement supérieure à ce qui est demandé.

# LISTE DES SIGLES

AFAQ : Association Française pour l'Assurance Qualité

AMED : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité

ANX : *American Network Exchange*

APS : *Advanced Planning and Scheduling*

AQL : *Acceptable Quality Level*

ATO : *Assembly To Order*

ATP : *Available To Promise*

BTO : *Build To Order*

B-to-B : *Business to Business*

B-to-C : *Business to Consumer*

CMI : *Customer Managed Inventory*

CPFR : *Collaborative Planning and Forecasting Replenishment*

CRM : *Customer Relationship Management*

CRP : *Continuous Replenishment Programm*

DAV : Disponible à vendre

DRP : *Distribution Resources Planning*

EAI : *Enterprise Application Integration*

EAN : *European Article Number*

ECR : *Efficient Consumer Response*

EDI : Echange de Données Informatisé

EIS : *Enterprise Information System*

ENX : *European Network Exchange*

EOQ : *Economic Order Quantity*

ERP : *Enterprise Resource Planning*

FIT : Fiche d'Instructions Techniques

FPL : *Fourth Party Logistics* (ou 4PL's)

FPS : *Ford Production System*

GALIA : Groupement pour l'Amélioration des Liaisons dans l'Industrie Automobile

GENCOD : Groupement d'Etudes de Normalisation et de Codification

GPA : Gestion Partagée des Approvisionnements

GPAO : Gestion de Production Assistée par Ordinateur

JAT : Juste-à-temps

JIT : *Just-in-time*

LTPD : *Lot Tolerance Percent Defective*

MAD : *Mean Absolute Deviation*

MES : <i>Manufacturing Execution System</i>	RECOR : Remplacement de Consommations Réelles
MPC : Management par les contraintes	ROP : <i>Reorder Point</i>
MPS : <i>Master Production Schedule</i>	RVA : Réseau à valeur ajoutée
MRP : <i>Material Requirement Planning</i>	SC : <i>Supply Chain</i>
MRP2 : <i>Manufacturing Resources Planning</i>	SCE : <i>Supply Chain Execution</i>
MSP : Maîtrise Statistique des Procédés	SCM : <i>Supply Chain Management</i>
NTIC : Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication	SCOR : <i>Supply Chain Operations Reference</i>
ODETTE : Organisation de Données Echangées par Télétransmission en Europe	SMED : <i>Single Minute Exchange of Die</i>
OF : Ordres de Fabrication	SPC : <i>Statistical Process Control</i>
OPT : <i>Optimized Production Technology</i>	SSCC : <i>Serial Shipping Contenaire Code</i>
OST : Organisation Scientifique du Travail	TOC : <i>Theory of Constraints</i>
PDCA : <i>Plan Do Check Act</i>	TPL : <i>Third Party Logistics</i>
PDP : Plan Directeur de Production	TPM : <i>Total Productive Maintenance</i>
PGI : Progiciels de Gestion Intégrée	TPS : <i>Toyota Production System</i>
PIC : Plan Industriel et Commercial	TQC : <i>Total Quality Control</i>
PIF : Parc Industriel de Fournisseurs	UN/EDIFACT : <i>United Nations / Electronic Data Interchange For Administration Commerce and Transport</i>
QFD : <i>Quality Function Deployment</i>	VMI : <i>Vendor Managed Inventory</i>
RAPIDES : Réseau Automobile Pilote d'Echanges Sécurisés	XML : <i>Extended Markup Language</i>

# BIBLIOGRAPHIE

## Ouvrages en français

ALLAB S., SWYNGEDAUF N., TALANDIER D., *La logistique et les nouvelles technologies de l'information et de la communication*, Paris, Economica, 2000.

ANSOFF I., *Stratégie du développement de l'entreprise*, Paris, Hommes et Techniques, 1974.

AURIFEILLE J.-M., COLIN J., FABBE-COSTES N., JAFFEUX C., PACHE G., *Management logistique : une approche transversale*, Paris, Litec, 1997.

BAGLIN G., BRUEL O., GARREAU A., GREIF M., DELFT C., *Management industriel et logistique*, Paris, Economica, 1996.

BARANGER P., CHEN J., *Management de la production et des opérations*, Paris, Litec, 1994.

BARDELLI P., *Le modèle de production flexible*, Paris, Que sais-je, PUF, 1996.

BERANGER P., *Les nouvelles règles de la production*, Paris, Dunod, 1995.

BILLOTTE P.-J., *Concurrence technologique et normalisation*, Paris, AFNOR, 1997.

BLONDEL F., *Gestion de la production*, Paris, Dunod, 1999.

BOURBONNAIS R., USUNIER J.-C., *Prévision des ventes*, Paris, Economica, 2001.

BRUEL O., *Politique d'achat et gestion des approvisionnements*, Paris, Dunod, 1996.

CHEVALIER F., *Cercles de qualité et changements organisationnels*, Paris, Economica, 1991.

COHENDET P., LLERENA P., *La productique, concepts, méthodes, mise en œuvre*, Paris, Economica, 1987.

COLIN R., *Produire JAT en petites séries*, Paris, Les éditions d'organisation, 1996.

COURTOIS A., MARTIN-BONNEFOUS Ch., PILLET M., *Gestion de la production*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1996.

- DORNIER Ph.-P., FENDER M., *La logistique globale*, Paris, Les Editions d'organisation, 2001.
- FABBE-COSTES N. (coordonné par), *Faire de la recherche en logistique et distribution*, Paris, FNEGE, Vuibert, 2000.
- GIARD V., *Gestion de la production*, Paris, Economica, 1988.
- GIARD V., *Processus productifs et programmation linéaire*, Paris, Economica, PIQ Poche, 1998.
- GIARD V., *Statistique appliquée à la Gestion*, Paris, Economica, 1995.
- GOGUE J.-M., *Management de la qualité*, Paris, Economica Poche, 1997.
- GOGUE J.-M., *Traité de la Qualité*, Paris, Economica, 2000.
- GOMEZ P.Y., *Qualité et théorie des conventions*, Paris, Economica, 1994.
- GRATACAP A., *La gestion de production*, Paris, Collection « Les Topos », Dunod, 1999.
- GRUA H., SEGONZAC J.-M., *La production par les flux*, Paris, Série Production Qualité, Dunod, 1999.
- GUILLAUME J.-P., *La performance logistique*, Paris, Nathan, 1993.
- HAMMER M., CHAMPY M., *Reengineering*, Paris, Dunod, 1995.
- HOLLARD M., *Génie industriel : les enjeux économiques*, Paris, P.U.G., 1994.
- ISHIKAWA K., *La gestion de la qualité*, Paris, Dunod, 1996.
- JAVEL G., *L'organisation et la gestion de la production*, Paris, Masson, 1993.
- JURAN J.-M., *Gestion de la qualité*, Paris, AFNOR Gestion, 1983.
- KOTLER Ph., DUBOIS B., *Marketing Management*, Paris, Publi-Union, 1997.
- MARTIN A.J., *ECR, démarches et composantes*, Paris, Jouwen Editions, 1998.
- MARTIN A.J., LANDVATER D.V., *Principes et perspectives du réapprovisionnement continu*, Paris, Jouwen Editions, 1998.
- MARTIN A.J., *DRP, planification des ressources de distribution*, Paris, Jouwen Editions, 1996.
- MOLLET H., *Une nouvelle gestion industrielle*, Paris, éditions Hermès, 1993.
- MONKS J.G., *Gestion de production et des opérations*, New-York, McGraw Hill, Série Schaum, 1993.
- NEUVILLE J.-P., *Le modèle japonais à l'épreuve des faits*, Paris, Economica, 1997.
- Norme AFNOR X50-310 : *Organisation et gestion de la production industrielle – Concepts fondamentaux de la gestion de production*, Paris, AFNOR, 1991.
- OHNO T., *L'esprit Toyota*, Paris, Masson, 2000.
- PACHE G., *La logistique : enjeux stratégiques*, Paris, Vuibert Entreprises, 2000.
- PELLEGRIN C., *Fondements de la décision de maintenance*, Paris, Economica, PIQ Poche, 1997.
- PILLET M., *Appliquer la maîtrise statistique des procédés*, Paris, Les éditions d'organisation, 1995.
- REIX R., *Systèmes d'information et management des organisations*, Paris, Vuibert, 1995.
- ROGER P., *Gestion de production*, Paris, Précis Dalloz, 1992.
- SAMII A.K., *Mutation des stratégies logistiques en Europe*, Paris, Nathan, 1997.
- SAMII A.K., *Stratégies logistiques*, Paris, Gestion Sup, Dunod, 2001.
- SEPARI S., *Gestion*, 5<sup>ème</sup> partie, Paris, Précis Dalloz, 1995.
- SHIBA S., GRAHAM A. et alii, *4 Révolutions du management par la qualité totale*, Paris, Dunod, 2000.

- SHINGO S., *Maîtrise de la production et méthode kanban*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1986.
- TARONDEAU J.-C., *Stratégies industrielles*, Paris, Vuibert, 1993.
- TIXIER D., MATHE H., COLIN J., *La logistique d'entreprise*, Paris, Dunod, 1996.
- TORRES O., *Economie d'entreprise – Organisation et stratégie à l'aube de la nouvelle économie*, Paris, Economica, 2000.
- VALLIN Ph., *La logistique*, Paris, Economica, 2001.
- VEDRINE J.P., *Techniques Quantitatives de Gestion*, Paris, Vuibert, 1985.
- VICS, *CPFR : concepts, carte routière et premiers pilotes internationaux*, Paris, Jouwen Editions, 2000.
- WIGHT O., *Réussir sa gestion industrielle par la méthode MRP2*, Paris, Les Editions de l'Usine Nouvelle, 1984.
- WOMACK J., JONES D., *Penser l'entreprise au plus juste*, Paris, Village Mondial, 1996.
- WOMACK J., JONES D., ROOS D., *Le système qui va changer le monde*, Paris, Dunod, 1992.

### Ouvrages en anglais

- BOWERSOX D. J., CLOSS D. J., *Logistical management – The integrated supply chain process*, New-York, McGraw-Hill, 1996.
- BROWNE J., *Production Management Systems : an integrated perspective*, Addison Wesley Publishing Compagny, 1996.
- CHANDLER A., *Strategy and Structure*, Cambridge, Mass., The M.I.T. Press, 1962.
- FEIGENBAUM A.V., *Total Quality Control* (3<sup>ème</sup> éd.), New York, McGraw-Hill, 1991.
- GOLDRATT E., COX J., *The goal : excellence in manufacturing*, New York, North river Press, 1984 – traduit par *Le but, l'excellence en production*, Paris, AFNOR Gestion, 1993.
- GREENE J.H. (sous la direction de), *Production and Inventory Control Handbook*, New-York, McGraw-Hill, 1997.
- LAWRENCE P., LORSCH J., *Organisation and Environnement : Differentiation and Integration*, Boston, Harvard University Press, 1967
- LEWIS J.D., *The connected corporation : how leading compagnies win through customer-supplier alliances*, New York, The Free Press, 1995.
- ORLICKY J., *Material Requirements Planning*, New York, McGraw-Hill, 1975.
- PLOSSL G.W., WIGHT O.W., *Production and inventory control : principles and techniques*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1967.
- SCHONBERGER R.J., KNOD E.M., *Operations Management – Customer Focused Principles*, New York, Irwin/McGraw-Hill, 1997.
- SHAPIRO R., HESKETT J., *Logistics Strategy : Cases and Concepts*, Saint Paul, West Publishing, 1985.
- SHINGO S., *A revolution in manufacturing : the SMED system*, Portland, Productivity Press, 1985 – traduit par *Le système SMED*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1989.
- SHINGO S., *Non-stock production : the Shingo system for continuous improvement*, Portland, Productivity Press, 1988 – traduit par *Le système Shingo : les clés de l'amélioration de la production*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1990.

WOODWARD J., *Industrial Organization Theory and Practice*, London, Oxford University Press, 1965.

### Articles de revues spécialisées

- BACHET D., « Organisation et critère de gestion : dépassement ou crise du modèle classique d'organisation. Le cas de la productique », *Sociologie du travail*, n° 1/1995 (ou P.E., n° 2.447, 22/11/95).
- BARTH D., « Le partenariat de développement simultané », *Revue Française de Gestion*, juin 1998.
- BEAUFILS Ph., « Le SGDT orchestre le système d'information », *Industries et Techniques*, n° 773, juillet 1996.
- BOUCHE M. et alii, « Les nouveaux enjeux de la maintenance », *Revue Française de Gestion*, sept. 1986.
- CHARUE-DUBOC F., « Pour comprendre l'évolution des projets chez Rhône-Poulenc », *Annales des Mines*, sept. 1997.
- CHEVALIER F., « Cercles de qualité : une intégration problématique dans la gestion », *Revue Française de Gestion*, nov. 1986.
- COHENDET P., LERCH C., « La gestion de l'immatériel dans les entreprises », *Annales des Mines*, juillet 1995.
- COHENDET P., « Evolution des processus productifs : la flexibilité n'est pas tout », *Revue Française de Gestion*, Juin 1987.
- COHENDET P., LLERENA P., « Flexibilité et modes d'organisation », *Revue Française de Gestion*, mars 1999.
- DEGOT V., « Projets d'entreprise : évaluation d'un instrument de changement », *Revue Française de Gestion*, mars 1988.
- DELHOMME B., BENOIT V., « Mise en place des flux tirés dans le contexte des pièces de rechange automobile », *Revue ENSAM 98*, Paris, Dunod, 1998.
- DESREUMAUX A., « Nouvelles formes d'organisation et évolution de l'entreprise », *Revue Française de Gestion*, janvier 1996.
- DUSSAUGE P., GARRETTE B., « Anticiper les conséquences des alliances », *Revue Française de Gestion*, n° 114, juin 1997.
- DUSSAUGE P., GARRETTE B., « Les alliances stratégiques : mode d'emploi », *Revue Française de Gestion*, Septembre 1991.
- ESTAMPE D., TSAPI V., « L'euro-péennisation de la logistique », *Revue ENSAM 98*, Paris, Dunod, 1998.
- EVERAERE C., « Les effets pervers de la flexibilité quantitative », *Revue Française de Gestion*, Juin 1999.
- FABBE-COSTES N., « Information management in the logistics service industry : a strategic response to the reintegration of logistical activities », *Transport Logistics*, vol. 1, n° 2, 1997.
- FAVIER M., COAT F., « Le futur des systèmes d'information », *Revue Française de Gestion*, septembre 1999.
- FOSTER J.B., « Le Fordisme : mythes et réalité », *Problèmes économiques*, n° 2.093, octobre 1988.
- GAFFARD J.-L., « Marchés et organisations dans les stratégies technologiques des firmes industrielles », *Problèmes économiques*, n° 2.149, nov. 1989 (ou *Revue d'Economie Industrielle*, 2<sup>ème</sup> trimestre 1989).
- GAREL G., MIDLER C., « Concurrence, processus cognitifs et régulation économique », *Revue Française de Gestion*, juin 1995.

- GAREL G., « Analyse d'une performance de co-développement », *Revue Française de Gestion*, mars 1999.
- GARRETTE B., « Alliances et partenariats vingt ans après », *Revue Française de Gestion*, n° 114, juin 1997.
- GOUSTY Y. *et alii*, « Les problématiques de conception des systèmes industriels », *Revue Française de Gestion*, janv. 1989.
- GOUSTY Y., KIEFFER J.P., « Une nouvelle typologie pour les systèmes de production », *Revue Française de Gestion*, juin 1988.
- GRATACAP A., « Système d'information et avantage concurrentiel : la nouvelle dimension du S.I. au sein de la firme globale », *5<sup>ème</sup> Conférence Internationale de Management Stratégique*, mai 1996, Lille.
- GRATACAP A., MEDAN P., « Mondialisation de la production et de la logistique et reconceptualisation des technologies de l'information », *Logistique et Management*, vol. 6 n° 1, 1998.
- HOBEN H., INGHAM M., « Par quel système remplacer le fordisme ? », *Annales des Mines*, décembre 1995.
- LAWRENCE P., LORSCH J., « Differentiation and integration in complex organization », *Administrative Science Quarterly*, vol. 12, n° 1, juin 1967.
- LE PARCO & alii, « La certification ISO 9000 : poison ou antidote », *Annales des Mines*, janvier 1996.
- LECLERC Y., « L'avenir du partenariat à la japonaise », *Revue Française de Gestion*, nov. 1992.
- LECLERC Y., « Partenariat industriel client/fournisseur ... une comparaison France-Japon », *Revue Française de Gestion Industrielle*, n° 1, 1992.
- LION V., « Les bons génies des la recherche-développement », *Enjeux Les Echos*, mai 1995.
- LIVIAN Y.F., « Effets de l'automatisation de la production sur les structures de l'entreprise », *Revue Française de Gestion*, oct. 1986.
- MATHE H., « Technologies et réseaux au service de l'entreprise industrielle étendue », *Revue Française de Gestion Industrielle*, n° 3, 1994.
- MEGGLE V., « L'architecture de l'usine efficace », *Revue Française de Gestion*, juin 1993.
- MEGGLE V., « Le juste-à-temps est-il un art japonais ? », *Revue Française de Gestion*, juin 1987.
- MIRA S., « Le rôle effectif du système d'information dans l'entreprise industrielle », *Revue Française de Gestion*, sept. 1993.
- MOLET H., « La chaîne logistique globale, intégrée, transversale, trans-fonctionnelle, ... à quelles conditions », *Revue Française de Gestion Industrielle*, vol. 17 n° 1, 1998.
- MURPHY P., POIST R., « Thrid-Party Logistics usage : an assessment of propositions based on previous research », *Transportation Journal*, vol. 37, n° 4, 1998.
- NEFUSSI J., « La compétitivité dans la filière alimentaire. Un outil ... : l'EDI », *Annales des Mines*, août 1995.
- PACHE G., DES GARETS V., « Relations inter-organisationnelles dans les canaux de distribution : les dimensions logistiques », *Recherche et applications en marketing*, vol. 12, n° 2, 1997.
- PELISSOLO J.-C., « La production et la distribution : la démarche de l'ECR », *Annales des Mines*, juillet 1995.
- PENANT D., « Mise en oeuvre d'un concept de gestion Kanban dans un atelier flexible », *Revue Française de Gestion*, nov. 1988.
- PERRIN J. *et alii*, « Conception de produits et coopération au Japon », *Revue Française de Gestion*, juin 1997.

- PERRIN X., « Le juste-à-temps : de la théorie à la pratique », *Revue ENSAM* 98, Paris, Dunod, 1998.
- PÉTERS S. *et alii*, « Flexibilité : les allemands se réveillent », *L'Usine Nouvelle*, n° 2.516, sept. 1995.
- POINTET J.-M., « Cohérence de la stratégie produit Renault », *Gérer et comprendre. Annales des Mines*, juin 1997.
- PONTIER P., « Management des équipements de production SMED et TPM », *Revue ENSAM* 98, Paris, Dunod, 1998.
- POURCHIER E., « L'histoire d'IRIS, l'usine du futur », *Gérer et comprendre, Annales des Mines*, juin 1996.
- RAICHE J.-P., BECHARD B.-M., « Les outils de la qualité : une approche intégrée », *Forum Qualité Scientifique*, automne 2000, cf. site [www.usherb.ca/RUQUEREQ/Revue.html](http://www.usherb.ca/RUQUEREQ/Revue.html).
- REIX R., « L'impact organisationnel des nouvelles technologies de l'information », *Revue Française de Gestion*, janvier 1990.
- REIX R., « Les technologies de l'information, facteurs de flexibilité ? », *Revue Française de Gestion*, mars 1999.
- REVUE FRANCAISE DE GESTION (Numéros spéciaux), n° 104 : *Vers l'organisation transversale*, juin 1995 - n° 123 : *Les flexibilités*, mars 1999 - n° 124 : *Producteurs-Distributeurs : le nouvel enjeu*, juin 1999.
- SIEGEL D., « La gestion de la qualité nouvelle », *Direction et Gestion*, n° 175-176, juillet 1999.
- SAUVAGE T., « Vers une temporisation de la durée des contrats dans la relation de prestation logistique », *Gestion 2000 – Management et Prospective*, vol. 16, n° 1, 1999.
- TARONDEAU J.-C., « Les technologies flexibles de production », *Harvard-L'expansion*, automne 1987.
- TARONDEAU J.C., WRIGHT R.W. : « La transversalité dans les organisations ou le contrôle par les processus », *Revue Française de Gestion*, juin 1995.
- THORELLI H., « Networks : between markets and hierarchies », *Strategic Management Journal*, vol. 7, n° 1, 1986.
- UPTON D., « Ce qui rend les usines vraiment flexibles », *L'Expansion Management Review*, sept. 1995.
- USINIER J.-C., « Consommation : quand global rime avec local », *Revue Française de Gestion*, octobre 1996.
- VELTZ P. *et alii*, « Vers de nouveaux modèles d'organisation de la production », *Problèmes économiques*, n° 2.359, janv. 1994.
- WEISS A., « L'industrie japonaise : mythes et réalités », *Harvard-L'expansion*, été 1985.
- WERRBROUCK J.C., « Regard sur deux approches de la qualité », *Revue Française de Gestion*, septembre 1993.
- ZARIFIAN Ph., « La gestion par activités et par processus à la croisée des chemins », *Annales des Mines*, mars 1995.

## Nom des revues utilisées

### Revues universitaires

Direction et Gestion  
 Gérer et Comprendre – Annales des Mines  
 International Journal of Logistics Management  
 Journal of Business Logistics

Journal of Management Information Systems  
 Journal of Operations Management  
 Logistique et Management  
 Operations Management Review  
 Revue Française de Gestion  
 Revue Française de Gestion Industrielle

**Revues spécialisées grand public**

01 Réseaux

Connectis (Les Echos)

e-commerce

Enjeux Les Echos

Industries et Techniques

L'Usine Nouvelle

Management et Systèmes (*lettre AFAQ*)

Les Echos

Logistique Magazine

Stratégies Logistiques

**Sites Internet (Entreprises privées)**

anx.com enx.com	<i>Automotive Network eXchange</i> . Extranet dans le secteur automobile américain. <i>European Network eXchange</i> . Extranet européen dans l'industrie automobile.
covisint.com	Covisint est une place de marché dans l'industrie automobile formée par General Motors, Ford, DaimlerChrysler, puis rejoint par Renault-Nissan.
cxp.fr	CXP est une société qui compare les progiciels et qui met en ligne gratuitement les informations de base sur chaque produit (réussite, fonctions...). CXP possède un magazine mensuel, par abonnement.
idc.fr	IDC est la principale agence sérieuse fournissant des informations sur le e-commerce et les logiciels.
ilsys.fr	ILSYS est le 1 <sup>er</sup> distributeur européen de progiciels Mapics. Sur ce site, on trouve des cas d'entreprises ayant adopté le progiciel de gestion intégrée.
mapics.com	Ce site fournit des informations très précises sur Mapics XA, dernière version du progiciel de gestion industrielle de la société américaine MAPICS Inc.
renault-institute.com	Ce site fournit des exemples d'interventions de l'Institut Renault de la Qualité.
oracle.com sap.com	Sites très riches, contenant de nombreuses informations sur les produits et les services d'Oracle ou de SAP, deux leaders pour les solutions ERP.
smart.com	Avec ce site, Smart offre la possibilité de choisir le modèle exact de véhicule souhaité par le client (concept de <i>Build to Order</i> ).
usinenouvelle.com	Le site de la revue Usine Nouvelle permet d'être informé de l'actualité et donne accès à des dossiers. Intéressant et documenté.

## Sites Internet (Associations et Groupements)

afaq.org	Association Française pour l'Assurance Qualité Informations nombreuses sur la qualité et sur la certification.
afittl.com	Association Française des Instituts de Transport et de Logistique
aft-iftim.com	Association pour le développement de la Formation professionnelle dans le Transport – Institut de Formation aux Techniques d'Implantation et de Manutention
afnor.fr	Association Française de Normalisation Qualité et normalisation ISO, Norme X50-310... etc.
aslog.org	Association Française de Logistique. Informations sur les grandes tendances de la logistique, forums, parutions récentes, etc.
cpfr.org	<i>Collaborative Planning and Forecasting Replenishment</i> . Nouveau concept visant à améliorer l'efficacité de la chaîne logistique grâce à la collaboration des partenaires. Ce site présente les éléments fondamentaux du CPFR, proposé par le VICS ( <i>Voluntary Interindustry Commerce Standards</i> ).
EANnet-France.org ou gencod-ean.fr	Gencod-EAN France favorise l'adoption de standards dans la communication interentreprises et la logistique. EANnet regroupe au sein d'une communauté virtuelle les adhérents de Gencod EAN. Ces sites fournissent une information complète sur l'EDI, les standards EAN, etc.
e-logisticien.com	Ce site propose des articles, des références Internet, des bibliographies sur la e-logistique. Simple, mais intéressant et didactique.
galia.com	Groupement pour l'Amélioration des Liaisons dans l'Industrie Automobile Site très complet, qui montre l'importance des flux d'informations et le rôle actuel joué par les réseaux numériques à valeur ajoutée (EDI, ENX, ODETTE, etc.) Odette : Organisation de Données Echangées par TéléTransmission en Europe
iso.ch	International Organization for Standardization De nombreuses informations sur les normes ISO sont disponibles.
mfq.asso.fr	Mouvement Français pour la Qualité. Association loi 1901, le MFQ contribue à la promotion et au rayonnement de la qualité française
supply-chain.org	Il s'agit du site du <i>Supply Chain Council</i> , association à but non lucratif, dont l'objectif est d'aider les entreprises à gérer leur chaîne d'approvisionnement.

# INDEX

## A

adaptabilité 28  
**AFAQ** 403, 408  
AFNOR norme X 50 222  
**Alcatel** 180  
algorithme de Wagner et Whitin 82, 133  
alliance stratégique 22  
AMDEC 249  
appel synchrone 312, 315  
approche systémique 16  
approche transversale 17, 337  
APS 90, 299  
AQL 396  
artisanat 29  
assembly-to-order 41  
assurance qualité 358, 412, 424  
**Auchan** 331  
audit qualité 412, 424  
autoactivation 231  
autonomation 231  
available-to-promise 50

## B

besoin brut 48

besoin dépendant 46  
besoin indépendant 46  
besoin net 55, 70, 133, 437  
build-to-order 40  
bureau des études 33  
bureau des méthodes 33

## C

capacité 63  
capacité finie 50  
capacité infinie 58  
**Carrefour** 326, 347  
**Carrier Networks** 366  
carroussel 334  
cas d'emploi 55  
**Cat Logistics** 235  
category management 174, 304  
cellule flexible 256  
**Celta** 419  
cercle de qualité 14, 364  
certification 407, 420  
chaîne de valeur 288, 420  
charge 63  
**Citroën** 277

codéveloppement 224  
 coefficient de corrélation 107  
 coefficient de détermination 107  
 coefficient de lissage 125  
 coefficient saisonnier 116, 117  
 commonalité 44, 134, 440  
 conception modulaire 44  
 concourance 222  
 coopération 28, 273  
 courbe d'efficacité 393, 395  
 coût 28  
 coût de possession 154  
 coût de rupture 155  
 coût de transaction 20, 21  
 coût des invendus 155  
 coût du stockage 75  
**Covisint** 22, 343  
 CPFR 309, 310  
 cross-docking 316, 317, 318, 320, 329

## D

**Décathlon** 317  
 découplage 144  
 délai 28  
 délai de livraison 188, 195  
 démarche transversale 279  
 Deming N.E. 357, 365  
 désaisonnalisation 115, 120  
**DHL** 290  
 diagramme de contrôle 400  
 Diagramme de Gantt 64  
 diagramme de Pareto 383, 385  
 différenciation retardée 41  
 disponible à vendre 49  
 diversité 43, 44  
 division du travail 12, 23  
 Dodge H.F. 357  
 droite des moindres carrés 105, 120, 122  
 DRP (*Distribution Resource Planning*) 46, 305

## E

EAI 300  
 e-commerce 346

ECR 284, 295, 303  
 EDI 270, 321  
 empowerment 233  
 Enterprise Information System 88  
 entrepôt 327, 329  
 entreprise étendue 288, 337, 343  
**ENX RAPIDES** 338  
 EOQ 158  
 e-procurement 35, 345  
 équipementier 312, 313  
 ERP 89, 299  
 erreur absolue moyenne 126  
 erreur de prévision 126  
 erreur moyenne 126  
 erreur quadratique moyenne 128  
 e-supply chain 337  
 étiquette logistique 323, 325  
**Eurotunnel** 415  
**Excel Microsoft** 112, 197  
 explosion 73  
 externalisation 289  
 extranet 338, 340

## F

Fayol H. 11  
 feuille de relevé 382  
 film véhicule 315  
 FIT 61  
 flexibilité 216, 218, 219  
 flow manufacturing 42  
 flux poussés 39, 273, 436  
 flux synchrones 437  
 flux tirés 40, 94, 228, 273, 436  
**Ford** 23, 137, 139, 143, 150, 186, 245, 291, 332, 403  
 Ford Production System 30  
 fordisme 365  
 Fourth Party Logistics 290

## G

**GALIA** 338  
 gamme 61  
 Gantt H. 64  
 gaspillage 230, 237, 238

**GENCOD** 322

gestion calendaire 152  
 gestion calendaire à niveau de  
 recombplètement 149  
 gestion intégrée 38, 171  
 gestion sans OF 94, 96, 97  
 gestion sur seuil 149  
 gestion transversale 10, 18  
 Giard V. 43, 108, 191  
 Goldratt E. 259  
 GPA 306, 323  
 GPA mutualisée 308  
**Guerlain** 127

**H**

heijunka 232  
 heuristique de Silver et Meal 86  
 histogramme 386, 389

**I**

**IBM** 367, 368, 431  
 implantation des équipements 252  
 indice d'aptitude 390  
 indice de dérèglage 390  
 ingénierie intégrée 222  
 intégrateur 289  
 intégration 4, 89, 132, 287, 292, 300, 303,  
 350, 407  
 internalisation 20  
 intervalle de confiance 111  
 intervalle de prévision 108  
 intervalle de tolérance 386, 389  
 inventaire permanent 150  
 Ishikawa K. 359, 365, 393

**J**

jalonnement 58, 60, 63, 66  
 jidoka 231  
 Juran J.M. 357, 365  
 Juste-à-Temps 28, 227, 263

**K**

kaizen 232  
 kanban 263, 266, 436, 449

kanban à double boucle 269  
 kanban à simple boucle 265  
 kanban de transfert 269  
 kanban informatisé 270

**L**

lead time 149  
 lean production 217  
 lecture optique 270  
**Lesieur** 153, 167  
 limites de contrôle 401, 403  
 limites de surveillance 402  
 lissage 65  
 lissage exponentiel 129, 133  
 logistique 35, 94, 285, 318, 321, 346  
 LTPD 395, 396

**M**

maintenance conditionnelle 239  
 maintenance systématique 238  
 management global 16  
 manuel qualité 411, 419  
**MAPICS** 90  
 marge 65  
 Martin A.J. 294, 305  
 mass customization 41  
 méthode ABC 139  
 méthode de lissage exponentiel 123  
 méthode DELPHI 100  
 méthode des moyennes mobiles 115, 133  
 méthode des temps standards 62  
 méthode kanban 97, 262  
**Michelin** 103, 130  
 Midler C. 222, 224  
 modèle de Wilson 149, 156, 160  
 modèle SCOR 295  
 MRP 45, 93, 315  
 MSP 365, 400  
 muda 237

**N**

niveau de qualité acceptable 395  
 niveau de service 185, 186, 187, 190, 204  
 nomenclature 50, 68

nomenclature arborescente 52  
 nomenclature indentée 53  
 nomenclature matricielle 53  
 norme 373, 407  
 norme AFNOR NF X50 247  
 norme AFNOR X50 358  
 norme ISO 412, 415, 417, 425, 426

## O

**ODETTE** 322  
 Ohno T. 228  
**Ooshop.com** 347  
 opération externe 247  
 opération interne 247  
 OPT 259  
**Oracle** 42  
 ordonnancement 34, 63  
 ordre de fabrication 48, 93  
 Orlicky J. 46  
 OST 23, 30, 365

## P

PDCA 360, 376, 379, 380, 425  
**Peugeot** 10, 345  
 PIF 315  
 places de marché 21, 342, 344  
 plan d'échantillonnage 393, 396  
 plan d'expérience 373, 376  
 plan directeur de production 47  
 plan industriel et commercial 47  
 planification Hoshin 378, 380  
 planning des OF 55  
 planographie 333  
 plateau 223  
 plate-forme 327, 329, 330, 332  
 Plossl G. 46  
 point de commande 149, 188, 199  
 point de découplage 39  
 poka-yoke 235  
 post-consommation 97  
 poste de charge 63  
 prévision 98, 117, 122  
 prévision qualitative 99  
 prévision quantitative 100

procédure d'éclatement 55  
 process control 399  
 processus 3, 233, 279, 287, 288, 314, 360, 365, 366, 407, 427, 428, 429  
 processus d'intégration 38, 373  
 production de masse 29  
 production flexible 26, 29  
 progiciel de gestion intégrée 89

## Q

QFD 375  
 qualité 28, 34, 225, 231, 355, 450  
 qualité totale 359, 360, 365, 366, 367  
 qualité-assurance 365  
 qualité-contrôle 357, 365  
 qualité-inspection 356, 365  
 quantité économique 81, 158, 191  
 quantité multiple de lancement 81  
 quasi-intégration 20, 22, 276

## R

réapprovisionnement en continu 306, 308  
 recomplètement 152, 312  
 reengineering 232, 409  
 référentiel 410, 424  
 règle des 5S 246  
 règle du lot pour lot 80  
 régression linéaire 105  
 regroupement des commandes 172  
 regroupement des OF 79  
 regroupement généralisé 173  
 regroupement sélectif 175  
 Reix R. 88  
**Renault** 223, 314, 339  
 reorder point 149  
 réquisition 313, 335  
 risque de rupture de stock 186  
 risque du client 393  
 risque du producteur 393  
 RVA 322

## S

SCE 300  
 Shingo S. 228, 263, 269

signal d'alerte 128  
 simulation 195, 197  
 six sigma 378, 403  
**Smart** 44  
 SMED 247  
 SPC 373, 432  
 spécification 33, 386  
 SSCC 324, 326  
 standardisation 43, 232  
 stock 137, 142, 258, 315  
 stock à rotation non nulle 201  
 stock à rotation nulle 201  
 stock d'alerte 149, 159, 191, 192  
 stock de distribution 138  
 stock de fabrication 138  
 stock de sécurité 150, 185, 190, 204, 268, 438, 442, 444  
 stock moyen 154, 210  
 stratégie d'intégration 20  
 stratification 386, 391  
 supply chain 292, 295, 301  
 supply chain intégrée 294  
 supply chain management 292, 297  
 synchronisation 232  
 système d'information 19, 88, 302  
 système RECOR 277, 437

## T

tarif dégressif 164  
 tarif dégressif incrémental 164, 168  
 tarif dégressif uniforme 164, 166  
 task time 231  
 taux brut de fonctionnement 241  
 taux de performance 241

taux de qualité 242  
 taux de rendement global 240  
 taux de rendement synthétique 240  
 taux net de fonctionnement 241  
 Taylor F.W. 11, 23  
 technique d'acceptation 392  
 technologie de groupe 254  
 technologie homogène 253  
 technostructure 25  
 temps de cycle 267  
 temps de cycle réel 241  
**Tesa** 94  
 théorie des contraintes 65, 259  
**Timberland** 98  
**Toyota** 15, 221, 232  
 Toyota Production System 227  
 Toyota Productive System 231  
 toyotisme 28, 365  
 TPM 238, 240  
 TQC 359, 368  
 traçabilité 326, 409  
 trans-shipment 317

## U

unité logistique 323

## V

variation saisonnière 112  
 variété 43, 215

## W

**Wabco** 271  
 web/EDI 340  
 Wight O. 46  
 Williamson O.E. 20



Anne Gratacap  
Pierre Médan

## MANAGEMENT DE LA PRODUCTION

### Concepts Méthodes Cas

Depuis quelques années, les entreprises sont baignées dans un environnement technologique profondément concurrentiel. Face aux exigences de réduction des coûts et des délais et à celles d'amélioration de la qualité et de la variété, les responsables de la production doivent mettre en œuvre des moyens sans cesse plus perfectionnés pour satisfaire de façon efficiente les consommateurs. La planification de la production, la gestion des stocks, l'organisation en juste-à-temps, les stratégies logistiques et la politique de la qualité constituent les principaux leviers sur lesquels le management de la production doit agir pour atteindre ses objectifs.

Privilégiant toujours la clarté d'exposition et la réflexion, cet ouvrage se propose d'analyser chacun de ces leviers selon plusieurs angles d'attaque. Il expose d'une part, pour chaque thème, les concepts fondamentaux et les méthodes du management des opérations. Un ensemble d'une **vingtaine de questions et d'exercices** permet d'appréhender le caractère opérationnel des techniques étudiées. D'autre part, de **nombreux cas d'entreprise récents**, offrent au lecteur une vision concrète et appliquée de la gestion de production.

Cet ouvrage est destiné aux étudiants de deuxième et troisième cycles de gestion (MSG, MIAGE, DESS, DEA), ainsi qu'aux élèves des grandes écoles de commerce et d'ingénieur. Parce qu'il est à la fois théorique et pratique, il suscitera également l'intérêt des professionnels.

#### ANNE GRATACAP

Ancienne élève de l'ENS de Cachan et agrégée de gestion, elle est maîtresse de conférences à l'université Paris XI et chercheur au PESOR. Elle est l'auteur de nombreux articles et communications dans le domaine de la stratégie et des NTIC.

#### PIERRE MÉDAN

Ancien élève de l'ENS de Cachan et agrégé de gestion, il est maître de conférences à l'université Paris I-Panthéon-Sorbonne. Responsable d'un DESS et chercheur au LASI au sein de l'UFR Gestion Sorbonne, il a aussi une activité de conseil en management de la production.



9 782100 052295