

PROPOSITION D'UN MODELE D'AIDE AU CHOIX DES METHODES ET DES OUTILS DE PILOTAGE DE LA PRODUCTION EN MILIEU INDUSTRIEL

Laurent BIRONNEAU*

Résumé. – L'objet de cet article est de proposer un modèle facilitant le choix des méthodes et des outils de pilotage de la production les plus adaptés aux différents types de systèmes de production. Ce modèle, développé à partir d'enquêtes et d'observations effectuées sur le terrain, s'appuie sur une classification des systèmes de production fondée sur trois critères principaux de différenciation.

Mots-clés : GPAO, MRP, Kanban, pilotage par les contraintes, typologie.

1. Introduction

Ces trente dernières années ont été fertiles en réflexions sur les systèmes de production et leur pilotage. Aux approches formalisées classiques de planification, d'ordonnancement et de gestion des stocks se sont ajoutées de nouvelles approches, développées pour gérer simultanément et de façon synchronisée les flux et les moyens de production. Il s'agit en particulier des méthodes MRP1 et MRP2, sur lesquelles se base la majorité des progiciels de GPAO, des techniques de synchronisation à la japonaise, dont la méthode Kanban constitue la partie court terme, et des différentes approches de pilotage par les contraintes, dont la plus connue est OPT. De ce fait, l'opérationnel chargé de la sélection des méthodes, et, plus concrètement, des outils de pilotage de la production à implanter dans son organisation, se trouve confronté au problème du choix : quelle approche retenir ? quelles méthodes ou combinaisons de méthodes implanter pour répondre aux objectifs de la production ?

* CREREG (université de Rennes 1 – Institut de Gestion de Rennes), Rue Jean Macé, CS 70803, 35708 Rennes Cedex 7.

L'objet de cet article est de proposer un modèle de référence montrant les liens privilégiés entre les différentes situations industrielles (ou autrement dit les différents types de systèmes de production) et l'utilisation de telle ou telle approche de pilotage. Il s'agit donc d'essayer de déterminer quelle solution semble la plus adaptée à un environnement donné.

2. Les approches méthodologiques

Dans cette perspective, un préalable consiste à étudier les approches méthodologiques proposées dans la littérature, puis celle qui est retenue dans cet article.

2.1 *Etat de l'art*

Les travaux réalisés en matière d'aide au choix d'une méthode de pilotage de la production peuvent être regroupés en trois courants principaux (Bironneau 1998) :

- une approche comparative, souvent dogmatique, avec des travaux cherchant à prouver qu'un instrument est meilleur que tous les autres dans tous les cas de figure. On citera par exemple les écrits de Fox (1982), Aggarwal et Aggarwal (1985), Plenert et Best (1986), ou Golhar et Stamm (1991). Les conclusions de ces recherches sont antinomiques. Ainsi, si Aggarwal et Aggarwal (1985) ne se prononcent pas quant au choix d'une méthode, rejetant uniquement l'approche MRP car celle-ci leur semble plus génératrice de problèmes humains que les autres approches étudiées, Plenert et Best (1986), mais aussi Fox (1982) s'engagent en faveur de OPT, et Golhar et Stamm (1991) du Kanban. D'autres approches comparatives peuvent être citées en exemple, mais elles sont souvent parcellaires, limitées soit à la comparaison d'un nombre restreint de méthodes, soit à la comparaison de différentes méthodes dans un environnement bien particulier, et le plus souvent les deux simultanément ;
- une approche intégrative, avec des recherches présentant l'intérêt qu'il y a à faire cohabiter les différentes méthodes au sein d'une même entité plutôt que de les opposer. Elle conduit à rejeter les solutions monolithiques au profit de solutions hybrides, combinant les points forts de chaque approche : intégration MRP-Kanban (Molet 1986, Belt 1987), intégration du MRP et des approches de pilotage par les contraintes (Spencer 1991, Reimer 1991, Miltenburg 1997)... Certains auteurs (Ptak 1991 ; Browne, Harhen et Shivnan 1994 ; Marris 1994) vont jusqu'à défendre un système hybride, synthèse des approches MRP, OPT et Kanban, regroupant les meilleures idées. Pour Gelders et Van Wassenhove (1985), OPT pourrait ainsi servir à la réalisation du PDP, la logique MRP serait utilisée pour le calcul des besoins, alors que des Kanban permettraient le pilotage à court terme des ateliers ;
- une approche que l'on peut qualifier de contingente, avec des travaux dont l'objet est d'identifier quel instrument de pilotage est le meilleur pour une entreprise placée dans un environnement donné. Quelques travaux se distinguent tout particulièrement, comme les recherches de Kieffer (1986), de Hatchuel et Sardas (1992), du CETIM

(Vincent 1993) ou encore de L'Anton (1995). Ils permettent d'identifier un ensemble de facteurs clés qui peuvent influencer sur le choix des méthodes et des outils de pilotage (*cf. infra*).

Sans entrer dans le détail d'une analyse critique de l'ensemble de ces travaux, l'étude de la littérature montre qu'il n'existe pas de synthèse réunissant les découvertes éparses en un ensemble cohérent. Ainsi, au sein de l'approche comparative, ne sont pas comparées les performances des différentes combinaisons d'outils, ou les performances d'un outil par rapport à une combinaison d'outils ; au sein de l'approche contingente, les différents travaux ne prennent pas en compte les combinaisons possibles d'outils. A notre connaissance, il n'y a que Karmarkar (1989) qui ait tenté une telle synthèse en proposant des systèmes de pilotage " mixtes ", combinant des méthodes de pilotage de la production différentes selon le type de processus du système de production considéré. Le modèle proposé semble toutefois trop limité pour permettre une réelle aide à la décision, notamment car il ne prend en compte que les méthodes Kanban et MRP et, dans ce dernier cas, sans entrer dans le détail de l'analyse par modules des outils de GPAO.

2.2 *Approche retenue dans cette recherche*

Dans cet article, nous cherchons à combler les limites définies précédemment en proposant un modèle prenant en compte la diversité des méthodes et des outils disponibles, tout en intégrant simultanément les approches comparative, intégrative et contingente du choix. Les systèmes de production étudiés sont des systèmes de type industriel ayant une unité de coordination et de pilotage, pouvant se composer d'un ou de plusieurs ateliers. Ils sont de type discret : la réalisation d'une production peut être décrite comme une suite d'opérations indépendantes réalisées sur des moyens indépendants ; il peut y avoir des points de rupture dans le flux sous forme d'en-cours et de stockages intermédiaires.

Dans ce champ d'étude, nous nous consacrons aux seuls problèmes de pilotage des flux rencontrés au niveau de la production. Ces problèmes peuvent être hiérarchisés selon le niveau décisionnel auquel ils interviennent. Nous retiendrons un découpage classique en quatre niveaux : la planification de la production, la programmation (ou calcul des besoins-matières), l'ordonnancement et le lancement-suivi. Le niveau de planification est lui-même décomposable en un niveau de planification globale, qui permet l'élaboration d'un document clé, par familles de produits, appelé Plan Industriel et Commercial (PIC) dans la littérature française, et un niveau de planification détaillée, par produits finis, qui débouche sur la réalisation du Programme Directeur de Production (PDP).

Pour obtenir le modèle d'aide au choix présenté dans la section suivante, nous avons utilisé une méthode d'investigation en trois phases (Bironneau 1999):

- une phase d'exploration théorique, où nous avons, d'une part, analysé les méthodes et les outils de pilotage de la production et défini leurs limites respectives quant au champ des problèmes couverts, et, d'autre part, étudié les conditions de leur insertion en entreprise, à partir de l'étude des modèles d'aide au choix proposés dans la

littérature et de leurs insuffisances. Cette phase nous a permis d'obtenir un premier modèle de référence, synthèse des différentes propositions ;

- une phase d'étude empirique, où nous avons analysé sur le terrain, à partir d'études longitudinales de cas, la manière dont les entreprises choisissent réellement leurs méthodes et leurs outils de pilotage de la production, en vue d'une prise en compte de la complexité du réel ;
- une phase de propositions inférées à partir du bouclage opéré entre l'espace théorique et l'espace empirique, permettant d'établir un modèle concret qui intègre la complexité du réel dans le modèle de base. Les résultats obtenus sont présentés dans cette deuxième section.

3. Proposition d'un modèle d'aide au choix

Après avoir développé notre propre typologie des systèmes de production, nous analyserons, pour chacun des types obtenus, les méthodes et les outils qui semblent les mieux adaptés aux différents niveaux de pilotage.

3.1 *Une typologie combinant le mode de réponse au marché et une approche par les flux*

Nous suggérons ici une nouvelle classification des systèmes de production, basée sur le croisement de trois critères principaux : le mode de réponse au marché, le profil du flux et la nature du flux. Ces trois critères ont été sélectionnés après étude des différents modèles d'aide au choix contingents et adaptés à notre objet.

Le **mode de réponse au marché** est un critère particulièrement discriminant pour le choix d'une méthode de pilotage. Nous en retiendrons trois valeurs significatives : la production pour un stock, la fabrication ou conception à la commande et la finition ou personnalisation à la commande.

Le second critère est relatif au **profil du flux**. Il reprend la logique de la classification VAT de Goldratt et Fox (1986). Ce critère permet la représentation d'un système selon la structure de ses nomenclatures, et, plus globalement, selon l'organisation " produit/process " (le résultat de la fusion des nomenclatures et des gammes). Il souligne le point central qui doit être géré et indique le nombre d'échéanciers à développer dans une optique de planification de la production. Il donne également une idée du processus technique d'élaboration des produits de l'entreprise (transformation, assemblage, ou une combinaison de ces deux approches), tout en fournissant une indication sur la variété des produits finis proposés par celle-ci. Enfin, ce critère facilite l'analyse de certains profils complexes, traditionnellement non traités dans les typologies, alors qu'ils constituent pourtant " des attracteurs de la dynamique industrielle ", au sens où le définissent Hatchuel et Sardas (1992) : des systèmes de production vers lesquels les entreprises doivent se tourner pour évoluer dans le sens d'une plus grande adaptabilité aux exigences des marchés. C'est le cas notamment des profils dits en T ou en X, que nous

regroupons sous l'appellation unique de "profil des produits à options et variantes" ; ils permettent aux entreprises de demeurer compétitives tout en personnalisant leurs produits en fonction de la demande des clients. Dans le cadre de notre classification, nous retiendrons quatre profils différents :

le profil en A regroupe les entreprises dont les flux sont de type convergent (prédominance de l'assemblage), qui produisent peu de produits finis à partir de nombreux composants fabriqués ou achetés ;

le profil en V caractérise les entreprises dont les flux sont de type divergent (prédominance de la transformation), dans lesquelles il y a plus de références différentes de produits finis que de types différents de matières premières ;

le profil en I est un profil très particulier. Il regroupe principalement des entreprises de première et de seconde transformation, dans lesquelles les références de produits finis sont peu nombreuses et obtenues à partir d'un nombre restreint de matières premières. Dans le cadre de notre classification, ce profil sera associé au profil en V. En effet, il a tendance à disparaître au fur et à mesure que les exigences du marché obligent les entreprises concernées à proposer des gammes de produits finis plus étoffées, donc à adopter un profil en V ;

le profil des produits à options et variantes, qui combine les profils précédents, caractérise les entreprises produisant des produits personnalisés en fonction de variantes et d'options.

Le dernier critère décrit la **nature du flux**. Il recoupe de façon nouvelle la classification de Woodward (1965), dont l'approche par la continuité des flux et la taille des séries constitue toujours un point de départ intéressant pour toute tentative de classification des systèmes de production. Il recoupe également la notion de cadence développée par Hatchuel et Sardas (1992). Ce critère précise, en effet, la manière dont les flux circulent et, surtout, dont les équipements sont implantés. Ces deux éléments permettent de juger efficacement du degré de fluidité du flux, du degré de variabilité des délais, et de la nature des problématiques d'ordonnement à résoudre. Trois catégories de production peuvent être distinguées, dont une est effectivement retenue dans le cadre de notre classification :

- les productions en flux discontinus (discrets), où chaque produit est réalisé suivant un processus de production qui peut être fractionné pour permettre la reprise des produits finis. C'est la notion " d'interruptibilité " qui est importante ici. Au sein de ces flux discontinus, nous distinguerons principalement les processus à flux linéaires et les processus à flux complexes ou enchevêtrés. Dans le premier cas, le principe d'organisation est celui de la ligne. Sur une ligne donnée, généralement affectée à une famille de produits, les flux ont un sens unique du poste d'entrée au poste de sortie. Le cheminement est toujours le même, d'où un ordonnancement de type flow-shop. Dans le deuxième cas, au contraire, de multiples cheminements existent au sein de l'entreprise. Chaque produit ou famille de produits possède une séquence d'élaboration (routage) spécifique, qui passe par des postes pour lesquels tous les produits, chacun avec son routage, entrent en compétition. Les flux de production sont donc plus ou moins entremêlés selon la diversité des gammes de fabrication.

L'ordonnancement est de type job-shop, voire open-shop dans le cas où le produit peut subir les opérations de production dans n'importe quel ordre. L'aménagement est de type fonctionnel, en ateliers spécialisés par procédés. On isolera à ce niveau le cas particulier de l'aménagement fixe. Il est adopté pour réaliser un produit unique ou en petites quantités, ou encore des produits eux-mêmes fixes. On ne peut pas réellement parler de flux produits, puisque ce sont les travailleurs, les matières, l'équipement et les outils qui se déplacent vers le produit en cours de fabrication ;

- les productions en flux continu, ou par process, qui concernent des processus de transformation où les flux des matières ne doivent pas s'interrompre entre les postes de travail consécutifs, c'est-à-dire sans stockage intermédiaire entre les postes. Dans le cadre de notre classification des systèmes de production, nous ne retiendrons pas ce type qui reste un idéal dans la mesure où il y a presque toujours un point de discontinuité dans les flux ;
- les productions en flux hybrides, qui associent, au sein d'un même système de production, les flux continus et les flux discontinus. De nombreuses industries de process peuvent être associées à ce type, en particulier dans l'agro-alimentaire, avec les systèmes de type batch-process. Conformément à la définition de notre champ de recherche, nous n'étudierons pas ce type.

A l'aide du croisement des états significatifs des trois critères présentés, nous pouvons maintenant proposer une nouvelle classification des systèmes de production, sous la forme de trois matrices à deux dimensions (figures suivantes).

Nature du flux Profil du flux	Flux Discontinu (discret)		
	Linéaire*	Enchevêtré	Fixe
Profil en A Flux convergent à dominante d'assemblage (peu de sous-ensembles communs à différents produits)	1 Système à dominante d'assemblage de biens intermédiaires standard, à variétés faibles, sur des lignes dédiées, pour les industries de masse (cadence élevée) <i>systèmes de freinage pour automobiles</i>	2 Système à dominante d'assemblage de biens intermédiaires standard, souvent complexes, à cadence faible ou moyenne, dans des ateliers fonctionnels <i>moteurs standard pour pompes, ou pour compresseurs...</i>	
Profil en V ou en I flux divergent ou unifilaire (transformation)	3 Fabrication de pièces usinées, formées ou moulées, ou de produits finis simples, de type standard, pour les industries de masse <i>Enjoliveurs, durites...</i>	4 Façonnage de pièces élémentaires ou de produits finis simples, standard, en petites séries <i>Pièces pour véhicules industriels ou pour engins de génie civil</i>	
Profil des produits à options et variantes	5 Assemblage ou fabrication (cadence élevée) de produits possédant de nombreuses variantes, mais construits autour d'un tronc commun <i>Produits finis conditionnés de grande consommation, intermédiaires pour les industries de masse</i>	6 Idem cas précédent, mais avec des cadences généralement plus faibles et une organisation en ateliers fonctionnels <i>Producteurs de machines-outils, de matériels de manutention</i>	

Matrice 1 : Production pour un stock[†]

Nature du flux Profil du flux	Flux Discontinu (discret)		
	Linéaire	Enchevêtré	Fixe
Profil en A			
Profil en V, I			
Profil des produits à options et variantes	7 Finition à la commande (cadence élevée) de produits très différenciés, obtenus par un assemblage de sous-ensembles standard (conception modulaire) ou par personnalisation de " produits enveloppes " fabriqués sur stock, en grandes séries <i>Constructeurs automobiles Conserveries, bouchons imprimés</i>	8 Finition à la commande (cadence faible ou moyenne) de produits très différenciés, obtenus à partir de semi-finis standard (sous-ensembles, modules, pièces) dont la production est anticipée <i>Machines-outils Matériels de manutention</i>	

Matrice 2 : Finition (personnalisation) à la commande

* Cheminement unique sur une ligne donnée (gamme analogue).

† Les cases en treillis foncés désignent des systèmes de production dont la probabilité d'apparition est très faible, voire nulle ; les cases blanches indiquent des systèmes qui sont courants en pratique ; enfin, les cases grisées soulignent les systèmes " attracteurs de la dynamique industrielle ".

Nature du flux Profil du flux	Flux Discontinu (discret)		
	Linéaire	enchevêtré	Fixe
Profil en A	Système à dominante d'assemblage de produits, le plus souvent standard, ayant très peu de sous-ensembles communs 9 (rare en pratique)	Système à dominante d'assemblage de produits spécifiques, conçus et réalisés selon les spécifications exprimées par les clients ou conçus par les clients eux-mêmes, voire de produits standard en petites séries 10	Productions très complexes (Ingénierie et gestion de projet) : Élaboration, à l'unité ou en très petites séries, de gros équipements, très complexes et coûteux 11 (<i>Satellites, machines spéciales...</i>)
Profil en V Ou en I flux divergent ou unifilaire	Fabrication à la commande, sur des lignes ou cellules flexibles, de pièces élémentaires le plus souvent standard 12 (sur catalogue), paramétrables ou non	Façonnage de pièces élémentaires ou de produits simples, spécifiques (<i>sous-traitance de spécialité ou de capacité</i>) ou en petites séries sur catalogue (<i>pièces pour avions...</i>) 13	Fabrication (ingénierie) de grosses pièces, souvent très spécifiques, pour les industries de la métallurgie, de l'énergie... 14 <i>Moules, grosses pièces forgées</i>
Profil des produits à options et variantes	Production à cadence élevée de produits personnalisés, qui se différencient souvent par des options et des variantes induisant des modifications aux différents niveaux de la nomenclature 15 <i>Production de cuisines en grande quantité</i>	Production à la commande, à cadence faible ou moyenne, de produits finis, personnalisés (paramétrables) ou possédant de nombreuses variantes <i>Meubles tapissés capitonnés</i> 16 (<i>canapé</i>), <i>produits sur mesure</i> (<i>ascenseurs, cabines de douche...</i>)	Productions de produits très complexes, avec une base commune, chaque exemplaire prenant en compte de nouvelles adaptations traduisant un perfectionnement technique ou les besoins spécifiques du client (systèmes multiprojets) 17 <i>Avionique, nautisme</i>

Matrice 3 : Fabrication et/ou conception à la commande

Cette typologie en 17 cases admissibles est conceptuellement très proche de celle qui a été proposée par feu l'AFGI (Gallois 1989). Deux critères leur sont communs : « le mode de réponse au marché » et le « profil du flux ». Quant à notre troisième critère, « la nature du flux », il recoupe implicitement, mais en étant plus précis, le critère de l'AFGI traduisant la répétitivité de la production (l'importance des séries). Toutefois, pour chacun de ces trois critères, nous proposons des états significatifs qui ne sont pas analysés dans la typologie de l'AFGI. De plus, contrairement à la représentation spatiale en trois dimensions adoptée pour celle-ci, nous avons choisi de présenter notre classification sous la forme de trois matrices à deux dimensions, ce qui permet de souligner les associations de critères improbables ou impossibles, d'illustrer, par des

* Pour le « profil du flux », l'AFGI parle « d'organisation produit/process ».

exemples représentatifs^{*}, les systèmes couramment rencontrés en pratique, mais aussi de souligner les « attracteurs de la dynamique industrielle », c'est-à-dire « *les configurations auxquelles certaines entreprises sont déjà confrontées, ou dont d'autres tentent de se rapprocher pour répondre aux contraintes de compétitivité qui se sont installées depuis une vingtaine d'années* » (Hatchuel et Sardas 1992). Enfin, la typologie proposée sert de cadre de référence à l'élaboration d'un modèle théorique d'aide au choix d'une approche de pilotage de la production.

3.2 *Un modèle de choix, synthèse des approches contingente, intégrative et comparative*

Pour chacune des cases de la typologie, il s'agit maintenant d'examiner les problématiques de pilotage correspondantes et surtout d'indiquer les méthodes et les outils de pilotage paraissant les mieux adaptés aux différents niveaux de pilotage tels qu'ils ont été définis précédemment, compte tenu de leur champ d'application théorique (figures suivantes).

Le **type 1** (profil en A, flux linéaire et production pour un stock) regroupe les systèmes à dominante d'assemblage de produits intermédiaires de type standard, le plus souvent simples, destinés essentiellement à des industries de masse. La variété est faible, l'interchangeabilité des sous-ensembles est limitée, les cadences élevées, les cycles de production courts, et la répétitivité forte. Les équipements, souvent très automatisés, sont généralement dédiés, et les produits peuvent passer d'une étape de production à une autre sans être stockés. Au regard de ces éléments, deux types de systèmes de pilotage semblent envisageables, avec des adaptations possibles pour chacun d'eux :

4. Un modèle théorique d'aide au choix d'une approche de pilotage de la production[†]

^{*} Les exemples proposés, au titre de l'illustration, sont tirés de l'étude d'une cinquantaine de cas réels, réalisée dans le cadre d'une thèse de sciences de gestion (Bironneau 1999). Soulignons, cependant, que toutes les entreprises relevant des activités citées ne sont pas forcément organisées de la même manière.

[†] Dans cette figure, les numéros indiqués dans l'angle supérieur gauche de chaque case constituent des points de repère pour les explications détaillées qui suivent. Les solutions entourées en traits pleins correspondent aux solutions principales ; celles en traits pointillés caractérisent des solutions complémentaires envisageables dans des environnements particuliers.

² S'il y a un souci d'optimisation des moyens de production, ou un besoin de pallier des perturbations commerciales intempestives (urgences, priorités...), il faut envisager l'achat d'un MRP2 possédant un module d'ordonnancement fin, voire d'un progiciel complémentaire d'ordonnancement d'atelier.

³ kanban pour les articles du tronc commun et les produits finis qui font l'essentiel des volumes.

Nature du flux Profil du flux et niveau de décision		Flux discontinu (discret)					
		Flux linéaire (type flow-shop)		Flux enchevêtré (type job-shop)			
Profil en A	Planification globale	1	MRP2 sans module PIC	ou	MRP2 sans module PIC	2	MRP2 sans module PIC
	Planification détaillée						
	Programmation						
	Ordonnancement						
Lancement Suivi/contrôle	+ ordo fin si conditions_	+ méthode Kanban ³	+ ordo fin si conditions_				
Profil en V ou en I	Planification globale	3	MRP2 avec module PIC et calculs MRP simples	variété forte (V)	logiciel spécifique de gestion par les contraintes	4	MRP2 avec un module PIC et un module de calcul des besoins simples
	Planification détaillée						
	Programmation						
	Ordonnancement						
Lancement Suivi/contrôle	ordo. fin_	+ méthode Kanban ³	MRP2 sans module PIC et calculs MRP simples	+ ordo fin si conditions_	logiciel spécifique de gestion par les contraintes		
Profil produits à options et variantes	Planification globale	5	MRP2 avec module PIC	+ outil de SCP si variété	MRP2 avec module PIC	6	MRP2 avec module PIC
	Planification détaillée						
	Programmation						
	Ordonnancement						
Lancement Suivi/contrôle	+ ordo fin si conditions_	ou	+ méthode Kanban ³	+ ordo fin si conditions_	+ possibilité outil de SCP si variété forte		

Matrice 1 : Production pour un stock

Matrice 2 : Finition (personnalisation) à la commande

*

Nature du flux Profil du flux et niveau de décision		Flux discontinu (discret)	
		Flux linéaire (type flow-shop)	Flux enchevêtré (type job-shop)
Profil produits à options et variantes	Planification globale	7 MRP2 avec module PIC + PDP + génération programme de finition à la commande + méthode Kanban ¹	ou MRP2 avec module PIC + PDP + génération programme de finition à la commande + ordo fin si
	Planification détaillée		
	Programmation		
	Ordonnancement		
	Lancement Suivi/contrôle		

¹ Uniquement pour les articles du tronc commun, si conditions d'utilisation du Kanban respectées.

² Cf. note 2 page précédente.

³ Un module d'ordonnancement fin (capacité finie) sera utile si le milieu est perturbé ; un module autorisant des calculs MRP sera conseillé si des regroupements d'OF et OA sont possibles.

Matrice 3 : Fabrication et/ou conception à la commande

Nature du flux Profil du flux et niveau de décision		Flux discontinu (discret)				
		Flux linéaire (type flow-shop)	Flux enchevêtré (type job-shop)		Flux fixe	
Profil en A	Planification de la production	Outil de gestion à la commande, avec module ordo fin et calculs des besoins MRP si	Délais courts		GPAO + gestion de projet	
	Programmation		P. standard	P. spécifique		
	Ordonnancement		Outil de gestion à la Cde ³	Outil de gestion à la Cde adapté à la gestion à l'affaire		Idem type 11 →
	Lancement Suivi/contrôle					
Profil en V ou en I	Planification de la production	logiciel spécifique de gestion par les contraintes	Délais courts		Outil d'ordo d'atelier possédant fonction d'ordo	
	Programmation		Idem type 12 ←	Idem type 14 →		
	Ordonnancement					outil d'ordo d'atelier
	Lancement Suivi/contrôle		Cas inverse			
Profil produits à options et variantes	Planification de la production	Outil de gestion à la commande ³ + regroupement en amont (C.B.)	Délais courts		GPAO + gestion de projet ou ERP permettant les deux	
	Programmation		Outil de gestion à la commande ³ + regroupement en amont (C.B.)	Idem type 17 →		
	Ordonnancement					
	Lancement Suivi/contrôle					

• - une approche purement informatique, avec comme outil de base une GPAO de type MRP2. Toutefois, les fonctionnalités permettant la réalisation d'un PIC ne s'imposent pas. En effet, la notion de famille de produits n'est pas discriminante : il y a peu de produits finis différents au sein de chaque famille, ou pas de familles. La planification peut se limiter à la réalisation d'un échéancier unique (le PDP) par produits finis. Si les prévisions sont fiables, une planification à capacité finie peut être utile (même si les variantes sont peu nombreuses), car les opérations d'ajustement entre charge et capacité sont alors effectuées automatiquement après la simulation de différentes hypothèses. Cette dernière solution est intéressante, lorsque la demande varie fortement dans le temps et qu'il y a des problèmes d'adéquation entre la charge et la capacité. Quant à l'ordonnancement, il s'avère relativement simple, car les flux sont de type flow-shop et les délais de production généralement constants et prévisibles (les produits sont standard). Si les lignes sont multi-produits, il peut cependant y

avoir des problèmes dans l'ordonnancement des différentes séquences de production. Lorsqu'il faut gérer également des contraintes de ressources multiples et simultanées (machines, main-d'œuvre) et qu'il y a un souci d'optimisation, un module d'ordonnancement fin ou un progiciel complémentaire d'ordonnancement d'atelier s'avère souvent nécessaire ;

- une approche basée sur une gestion par Kanban. Lorsque la demande est stable sur l'ensemble des produits gérés au sein du système (ce qui est rare en pratique), un fonctionnement uniquement avec des Kanban est envisageable. Si, par contre, la demande est variable (mais faiblement ou alors dans des limites raisonnables pouvant être planifiées), une approche intégrant un progiciel de type MRP et une gestion par Kanban est conseillée. La répartition des tâches entre ces deux outils varie selon le contexte. La méthode Kanban constitue la méthode principale de pilotage à court terme, pour l'ordonnancement et le lancement des fabrications et/ou des assemblages, voire des ordres d'achats pour les fournisseurs les plus réactifs. Quant au progiciel MRP2, il se charge des niveaux supérieurs de pilotage, et fournit un cadre à la production. A partir des prévisions de consommations, détaillées par produit fini (réalisation d'un PDP), il s'assure du bon équilibre entre la charge et la capacité à tous les stades de production. Il fixe le taux de production (le débit) permettant aux ateliers de s'adapter aux fluctuations de la demande (dimensionnement des boucles Kanban). En outre, il définit les volumes prévisionnels des besoins en composants et en matières premières. Ils sont communiqués aux fournisseurs pour qu'ils s'organisent en conséquence, et utilisés pour lancer les ordres d'achat des composants à long délai d'approvisionnement. En cas de saisonnalité ou de pics de la demande, le progiciel MRP2 permet également d'anticiper les demandes de réapprovisionnement. Enfin, il se charge d'une partie de la gestion à court terme (ordonnancement, lancement et suivi des OF), dans les cas où la méthode Kanban ne peut être généralisée à tous les articles du système. Avant de retenir cette solution, il convient de vérifier la capacité de l'organisation à fonctionner selon la méthode Kanban. Cette méthode implique, en effet, des conditions très strictes, et notamment : des flux suffisamment réguliers ; la capacité de produire en très petits lots à un coût raisonnable ou de ne pas fabriquer quand il n'y a pas de commande ; des cycles de production relativement courts ; une haute qualité des produits livrés à chaque étape de la production ; un personnel polyvalent et motivé. Si l'une de ces conditions n'est pas respectée sur la partie de la production que l'on souhaite gérer avec des Kanban, alors l'utilisation de cette approche est à proscrire au profit de la seule solution informatique. Dans le cas contraire, la mise en œuvre de la méthode Kanban sera favorisée, puisqu'elle simplifie le pilotage et favorise une meilleure réactivité.

Le **type 2** (profil en A, flux enchevêtré et production pour un stock) est très proche du cas précédent. Il correspond aux systèmes produisant sur stock des biens intermédiaires standard, le plus souvent complexes, de manière répétitive, mais avec des cadences journalières faibles ou moyennes (quelques dizaines de produits par jour). Il peut s'agir également de systèmes dans lesquels l'organisation des moyens n'a pas suivi l'évolution des cadences de production, et qui doivent s'adapter (se transformer en type 1). Les systèmes de type 2 sont organisés en ateliers

fonctionnels. Les produits circulent librement entre les machines suivant les besoins (les gammes sont très diversifiées) et la disponibilité des machines. Les flux sont donc enchevêtrés, ce qui entraîne des variations de charges, de goulets et de délais : d'une période à l'autre, les machines peuvent passer de la rupture à la surcharge. Le pilotage de ces systèmes est donc complexe : il est très difficile d'ajuster la charge et la capacité (problème de planification), et surtout d'enchaîner les tâches permettant la réalisation d'un produit (problème d'ordonnancement). Il se crée, en effet, des files d'attente devant les machines, d'où des problèmes de priorité à gérer. La méthode MRP a été conçue à l'origine pour gérer cet environnement complexe (job shop). Elle constitue la seule approche réellement adaptée à ce cas. La méthode Kanban n'est utilisable que sur les parties de la production où les moyens sont disposés en lignes (s'il y en a), sous réserve que les autres conditions propices à un fonctionnement en Kanban soient respectées. Dans ce cas, néanmoins, cette méthode ne constitue qu'une solution complémentaire à un progiciel performant de type MRP2. Comme dans le type 1, cet outil doit disposer des modules classiques de gestion des données techniques et des stocks, de planification (réalisation d'un PDP), de programmation, d'ordonnancement, de lancement et de suivi. Cette dernière fonction prend une importance toute particulière dans cet environnement complexe, car la planification, la programmation, et surtout l'ordonnancement, sont construits à partir de temps prédéfinis. Un suivi précis de l'activité est donc conseillé pour que le pilotage demeure réaliste. Le recours à un outil complémentaire d'ordonnancement d'atelier s'avère utile lorsque l'optimisation et/ou la saturation des moyens sont recherchées.

Le **type 3** (profil en V ou en I, flux linéaire et production pour un stock) rassemble les systèmes de production fabriquant sur stock, le plus souvent à cadence élevée, des produits semi-ouvrés ou des pièces simples, essentiellement pour les industries de masse (type 1 ou 7 par exemple), mais aussi des produits finis de grande consommation vendus à des grossistes ou en grandes surfaces, comme des accessoires pour l'habitation (des plinthes, des prises, des moulures...). Dans ces systèmes, la variété peut être réduite et on se situe alors dans le cas de très grandes séries répétitives sur des chaînes dédiées et automatisées (profil en I). Elle peut être forte (profil en V). C'est alors le règne de la production par petits lots, si les lignes multiproduits sont flexibles, ou par campagnes, lorsque les temps de changement de série sont élevés. Dans ces systèmes, il n'y a pas de phase d'assemblage et donc pas de problématique de coordination de différents flux. Les décisions de pilotage portent essentiellement sur les lancements de production à opérer pour répondre à la demande (que faire pour utiliser au mieux les ressources ?) et, dès lors que les ressources sont partagées, sur les priorités respectives d'utilisation de celles-ci.

Dans le cas de lignes ou de chaînes multi-produits (profil en V), trois systèmes de pilotage peuvent être conseillés :

- un progiciel de GPAO de type MRP2. Il disposera d'un module de planification permettant de différencier un PIC et un PDP et d'un module de calcul des besoins simplifié, chargé de fournir les programmes de fabrication et d'achat. Il est possible, en effet, de regrouper différents produits au sein d'une même famille, d'où le recours à un PIC, et les nomenclatures à traiter sont très simples, d'où un calcul des besoins simplifié. Si, toutefois, les équipements ne sont pas flexibles, et les contraintes à gérer

multiples (outils, hommes...), il convient d'opter également pour un module d'ordonnancement fin (ou un outil complémentaire) permettant « l'optimisation » des campagnes de production. Il faut également préciser que la planification se fera si possible à capacité finie, car la variété est importante ;

- une GPAO de type MRP2 couplée avec un pilotage à court terme par Kanban, si les conditions propres au fonctionnement de cette dernière méthode sont respectées. La répartition des rôles entre les deux outils est conforme à celle qui a été indiquée pour le type 1 ;
- un système axé sur une méthode de pilotage par les contraintes. Cette approche est envisageable dans les systèmes où les lignes ne sont pas cadencées et où les problèmes de flexibilité de certaines machines entraînent l'apparition de goulets de production. Les flux étant de type flow-shop, l'analyse du profil des en-cours permet rapidement d'identifier la ressource à partir de laquelle l'activité doit être synchronisée. Toutefois, cette solution ne peut être conseillée que lorsque les deux approches précédentes ne donnent pas satisfaction, car elle implique souvent le développement d'un outil spécifique, les progiciels basés sur cette logique restant extrêmement rares et marginaux (c'est le cas de OPT par exemple).

Dans le cas d'un profil en I (rare en pratique), la planification globale perd de son intérêt (la variété est faible). On utilisera essentiellement une GPAO de type MRP2 axée sur l'élaboration d'un PDP (un PIC est inutile) et adaptée aux systèmes de fabrication répétitive (planification des cadences de production). L'approvisionnement en matières premières et/ou en composants peut éventuellement être géré à l'aide de la méthode Kanban.

Dans les systèmes de **type 4** (profil en V ou en I, flux enchevêtré et production pour un stock), les flux ne sont pas linéaires, mais enchevêtrés. Il peut s'agir du même type d'entreprises que dans le cas précédent, mais d'entreprises dans lesquelles il n'a pas été possible, pour des raisons techniques ou financières, de focaliser et de linéariser les équipements. Plus souvent, cependant, les organisations concernées fournissent, sur stock, des semi-ouvrés ou des pièces en petits volumes et à cadence faible ou moyenne, comme des pièces usinées pour les véhicules industriels ou les engins de génie civil. Le pilotage de ces systèmes est complexe. Aux problèmes classiques de planification (arbitrage entre les stocks de produits finis et le lissage de la charge), viennent se greffer des problèmes liés à la gestion des priorités devant les machines dont l'utilisation est partagée, avec parfois des produits à des stades différents d'avancement. Deux solutions sont envisageables : l'utilisation d'un système MRP2 du même type que précédemment (profil en V), avec des modules fins d'ordonnancement et de suivi de production, ou le recours à un outil spécifique de pilotage par les contraintes, le problème étant alors de déterminer la ressource à partir de laquelle synchroniser la production.

Le **type 5** (profil des produits à options et variantes, flux linéaire et production pour un stock) définit les systèmes produisant, sur stock et à cadence élevée, une grande variété de produits finis. Les caractéristiques différenciant ces produits sont généralement mineures du point de vue de la production (nombreuses variantes commerciales dérivées de quelques

éléments de base) et il est souvent aisé de constituer des familles de produits. Au sein de ces familles, il est possible de dissocier des articles communs et des articles spécifiques, c'est-à-dire de créer un véritable tronc commun à plusieurs produits finis. A ce stade, la production est généralement répétitive et régulière. Ces systèmes concernent essentiellement des organisations produisant des produits finis conditionnés de grande consommation, comme certains produits de l'alimentaire ou des cosmétiques. Il peut s'agir aussi d'organisations produisant des produits intermédiaires très différenciés pour les industries de masse (éléments participant à la différenciation des produits finaux).

Leur pilotage s'avère relativement similaire à celui des systèmes de type 1. En raison d'une plus grande variété des produits, la planification est cependant plus complexe. Il est délicat de réaliser des prévisions au niveau de chaque produit fini. La solution consiste à regrouper les produits finis par familles et à utiliser des nomenclatures de planification, représentant la proportion des différents produits dans chaque famille de produits. Il suffit alors d'effectuer des prévisions relatives à la famille pour disposer de prévisions assez fiables sur les demandes des différents produits qui constituent de la famille. On effectue une première planification au niveau des familles de produits, suivie d'une seconde (à horizon plus court) au niveau des produits finis. Cette procédure justifie le recours à un progiciel de type MRP2, permettant la réalisation d'un PIC et d'un PDP. S'il existe des problèmes d'adéquation entre la charge et la capacité, à cause de variations dans les demandes, il convient de privilégier un système réalisant cette planification à capacité finie. Dans les cas très complexes (variété très importante, coûts de lancement importants...), il faut envisager l'utilisation complémentaire d'un système d'optimisation de la planification (outil dit de « Supply Chain Planning »). Pour la gestion du court terme, on retrouve les deux options proposées pour le type 1 : une gestion informatique et centralisée, assurée par le progiciel de GPAO seul ou en association avec un outil informatique de gestion d'atelier, ou une association MRP2/Kanban. Cette dernière approche est bien sûr à conseiller lorsque les conditions liées à l'utilisation de la méthode Kanban sont respectées. Le recours à des boucles Kanban peut notamment être envisagé au niveau des articles du tronc commun, qu'il s'agisse de sous-ensembles ou de composants, car leur consommation est souvent régulière. En revanche, la production et l'approvisionnement des articles ne faisant pas partie du tronc commun, ainsi que les stades de différenciation des produits finis (assemblage essentiellement), sont régis selon une logique de programmation.

La spécificité des systèmes du **type 6** (profil des produits à options et variantes, flux enchevêtré et production pour un stock), par rapport au précédent, s'apprécie au niveau de l'implantation des machines : elles ne sont pas disposées en flux, mais implantées fonctionnellement, sauf, éventuellement, à l'assemblage ou au sein des ateliers produisant des éléments communs à plusieurs produits. Dans ce type, on trouve surtout des systèmes très intégrés, employant des technologies très diverses, où les gammes opératoires varient fortement d'un produit à un autre. Un fonctionnement selon la méthode Kanban est donc exclu, sauf sur les parties en lignes ou en cellules. Dans ce dernier cas, il ne constitue de toute évidence qu'un outil annexe à une gestion plus globale de type MRP2. Le progiciel adéquat doit respecter les mêmes contraintes que celles qui ont été définies dans le type précédent. Il doit, en outre, disposer d'un module de suivi très performant, capable de souligner, en temps réel, tout écart par rapport à la planification, à la programmation ou à l'ordonnancement.

Le **type 7** (profil des produits à options et variantes, flux linéaire et finition à la commande) correspond à la stratégie de différenciation retardée. Il regroupe les systèmes de production dans lesquels des produits finis très différenciés sont assemblés ou terminés à la commande, à partir de sous-ensembles standard ou de « produits-enveloppes » dont la production a été anticipée. Une très grande variété de produits finis peut ainsi être obtenue avec des délais courts et des coûts raisonnables. Les cadences sont généralement élevées, d'où une implantation en lignes. Ce cas est parmi les plus complexes à gérer. Il suppose qu'une partie de la production soit anticipée afin de réaliser ultérieurement une finition à la commande, à partir des éléments ainsi stockés. Comme une très grande variété de produits finis peut être obtenue au stade de la finition, une prévision au niveau des produits finis est souvent impossible. Dès lors, il convient de faire une prévision séparée pour chacun des éléments principaux gérés sur stock, au lieu d'effectuer une prévision sur toutes les versions des produits finis. Ainsi, lorsque les produits finis ne diffèrent que par la couleur et/ou l'emballage, la prévision portera sur les produits non peints et/ou non emballés ; si la différence se situe au niveau des options montées lors de l'assemblage final, les prévisions porteront sur les différents modules de base, les variantes et les options. Enfin, si les produits sont issus de l'assemblage de sous-ensembles standard, les prévisions seront réalisées sur les différents sous-ensembles. Dans ces différents cas, il faut envisager le recours à des nomenclatures de planification, représentant un produit qui ne peut pas exister ; on y trouve tous les sous-ensembles et modules susceptibles d'entrer dans la composition des différents produits d'une famille, chacun affecté d'un coefficient correspondant à son taux d'occurrence constaté ou prévu. Ainsi, il suffit d'effectuer des prévisions portant sur le macro-produit fictif, représentatif de la famille de produits, pour disposer de prévisions sur chacun des éléments que l'on souhaite gérer sur stock. Il aurait été impossible ou aléatoire d'effectuer directement celles-ci. Pour le pilotage des systèmes de type 7, il faut donc utiliser une planification à deux niveaux (un PIC suivi d'un PDP), complétée, sur le très court terme, par un programme d'achèvement (ou de montage). Le PIC planifie les familles, le PDP spécifie les éléments à fabriquer pour le stock et le programme d'assemblage final (d'achèvement) les assemble (ou détermine la peinture et/ou l'emballage), conformément à la demande du client.

Sur la base de ces éléments, le système de pilotage le plus intéressant résulte d'une association entre un progiciel de type MRP2 et des boucles Kanban. Une association de ces deux outils peut être très profitable, car l'utilisation du Kanban, au niveau des articles principaux gérés sur stock, simplifie le pilotage ; l'ordonnancement et le lancement sont décentralisés dans les ateliers. La répartition des rôles entre les deux outils est très classique. Le Kanban est utilisé au niveau des éléments communs à plusieurs produits finis (éléments du tronc commun), puisque leur consommation est souvent régulière, sous réserve que les autres conditions d'utilisation de cette méthode soient respectées. Le progiciel MRP2 se charge de la planification, de la programmation, mais aussi de la gestion court à terme (ordonnancement, lancement, suivi) des articles non gérables selon la méthode Kanban et de la finition des produits finis. Il doit être sélectionné parmi les outils possédant un module permettant la réalisation des programmes d'assemblage ou de finition à la commande. Le recours à un outil complémentaire d'ordonnancement d'atelier est justifié lorsqu'au stade de personnalisation, l'entreprise souhaite optimiser ou saturer ses ressources, et/ou lorsqu'il y a de fortes perturbations commerciales. Par souci de simplification, la gestion de certains modules ou de certains sous-ensembles simples, de

faible valeur, dont la production doit être anticipée, peut, éventuellement, s'effectuer selon des méthodes classiques de gestion à point de commande ou de reapprovisionnement avec stocks de sécurité.

Le **type 8** (profil des produits à options et variantes, flux enchevêtré et finition à la commande) est relativement proche du cas précédent, mais l'implantation des équipements est essentiellement fonctionnelle. Les entreprises concernées ont souvent des domaines d'activités similaires à ceux du type 7. La dissimilitude dans l'organisation des flux s'explique par des différences au niveau des cadences de production (compte tenu de la faiblesse des volumes, il est impossible de constituer des lignes), ou par un stade de personnalisation très en amont du processus de production. Au niveau du pilotage, il est nécessaire de dissocier trois échelons différents : un PIC par famille de produits, un PDP qui spécifie les semi-finis ou les sous-ensembles dont la production doit être anticipée, et un programme d'achèvement qui permet la personnalisation des produits finis. Cela suppose, comme dans le cas précédent, que soit franchie une étape préalable : l'établissement de nomenclatures de planification. Toutefois, contrairement au type 7, le recours à la méthode Kanban, qui simplifie le pilotage, n'est envisageable que s'il existe des flux linéaires en amont du stade de personnalisation. Dans les autres cas, la seule solution adaptée est un outil complet de type MRP2. On lui adjointra un outil complémentaire d'ordonnancement d'atelier, si la saturation ou l'optimisation des moyens est recherchée.

Les systèmes de **type 9** (profil en A, flux linéaire et fabrication à la commande) sont à dominante d'assemblages. Ils produisent entièrement à la commande des produits, le plus souvent simples et standard, n'ayant pas ou ayant peu de sous-ensembles communs. Assez rare en pratique, le type 9 regroupe des systèmes dans lesquels les cycles de production sont courts, et les variantes peu nombreuses. Le pilotage de la production, assez simple, est basé sur la gestion du court terme, surtout si les approvisionnements ne sont pas anticipés. Il n'y a pas de planification directrice (pas de production sur prévision). La fonction « planification » a essentiellement pour rôle d'estimer, à chaque passage de commande, un délai client compatible avec l'état de la charge de la production. Dans ce cadre, un outil de gestion à la commande, permettant le lancement en production à partir des commandes entrantes (sans PDP) et la simulation d'un plan de charge pour une estimation de délai à la commande, peut convenir. Si l'environnement est perturbé, cet outil disposera, en outre, d'un module d'ordonnancement fin permettant des lissages à capacité finie. Enfin, il permettra également des regroupements d'OF/OA (logique MRP), lorsque certains composants sont communs à plusieurs produits ou qu'il y a un souci de regrouper les ordres.

Les systèmes de **type 10** (profil en A, flux enchevêtré et fabrication à la commande), contrairement aux systèmes précédents, sont assez courants en pratique. Ce sont des systèmes produisant entièrement à la commande, dans des ateliers fonctionnels, des produits simples ou complexes, voire très complexes, standard ou spécifiques, et ayant très peu d'articles (sous-ensembles) en commun. Il peut donc s'agir :

- de fournisseurs très intégrés de grands groupes industriels, comme ceux de l'aéronautique, ou d'établissements spécialisés de ces grands groupes, produisant

pour les unités d'assemblage de ceux-ci ou pour des clients extérieurs (pièces de rechange) des sous-ensembles de type standards à la commande. Les problématiques de pilotage et les outils adaptés sont similaires à ceux du type 9 ;

- de sous-traitants de spécialité-process, qui vendent un savoir-faire technique, et n'ont pas de produits propres. Il peut s'agir également de sous-traitants de capacité, prêts à faire tout ce que leurs moyens de production leur permettent. Dans ce cas, les produits sont souvent spécifiques, conçus par le sous-traitant dans le respect d'un cahier des charges fourni par le donneur d'ordre, ou conçus directement par le donneur d'ordre ; il spécifie les produits, la manière de les réaliser et, parfois, fournit les matières et les composants nécessaires. Les systèmes de ce type sont, pour la plupart, de taille réduite. Ils possèdent un parc de machines souvent surdimensionné, afin de répondre, dans des délais courts, à une multitude de commandes disparates et à une activité très irrégulière. Effectivement, dans ces systèmes, la demande n'est pas prévisible. Les séries sont généralement courtes et non répétitives. La problématique de planification n'existe pas, du moins pas au sens où on l'entend pour les systèmes produisant des articles standard sur stock : on ne gère pas de PDP. Généralement, il n'y a pas non plus de problème de gestion des stocks. Les seuls stocks éventuellement conservés concernent des matières premières et des composants couramment utilisés ; ils peuvent être gérés selon des méthodes classiques de gestion par seuils. Le pilotage de la production se résume donc essentiellement à de la gestion d'affaires (calcul des offres, proposition d'un délai au client) et à des opérations d'ordonnancement et de suivi d'affaires. Ce suivi doit être dynamique ; le sous-traitant doit constamment s'assurer que tous les travaux progressent au rythme prévu, afin de pouvoir répondre rapidement à toute demande du client quant à l'état de son travail, afin de faire face aux aléas, et afin de maîtriser parfaitement les coûts de production. Il doit également connaître, à chaque instant, la charge de l'ensemble de ses ressources, pour optimiser leur chargement (ordonnancement réactif à capacité finie) et savoir s'il peut accepter de nouvelles commandes ou déplacer des priorités. Il faut donc une GPAO pilotée par les événements plutôt que par les données (temps réel). Quant au calcul des besoins, il doit si possible être propre à chaque commande ; la logique MRP de regroupement est souvent inutile. Les progiciels adaptés sont essentiellement des outils de gestion à la commande, permettant une gestion à l'affaire et développés spécifiquement pour la sous-traitance ;
- de systèmes d'ingénierie, élaborant, à l'unité ou en très petites séries, des produits très complexes, souvent composés de plusieurs milliers de pièces. Dans ce dernier cas, les délais sont souvent longs (plusieurs mois). L'implantation peut être mixte, pour partie en ateliers et pour partie en système fixe (cf. le type suivant pour l'analyse des problématiques de pilotage). Les outils adaptés sont orientés vers la gestion de projet.

Les systèmes de **type 11** (profil en A, flux fixe et fabrication à la commande) correspondent au cas type de l'ingénierie et de la gestion de projet. Il s'agit, dans ces systèmes de production, d'élaborer, à l'unité ou en très petites séries, des produits très complexes, composés de plusieurs milliers de pièces, ou des équipements fixes (plates-formes pétrolières,

installations industrielles...). Dans la majorité des cas, les produits sont conçus et réalisés sur devis, en étroite collaboration avec les clients. Ils sont donc très spécifiques. L'activité est peu répétitive à tous les stades de la production et les cadences sont très faibles (quelques produits par an). Trois étapes sont très importantes dans le pilotage d'un projet. La phase de " planification " permet de décomposer le projet en différentes tâches élémentaires et d'évaluer, *a priori*, pour chacune d'entre elles, les délais de réalisation probables et la charge résultante sur les différentes ressources. Cette tâche est délicate, vu la faible répétitivité des projets. La phase d'ordonnancement du projet permet de choisir le moment de réalisation des différentes tâches en fonction des contraintes d'antériorité et de la disponibilité des ressources concernées. Enfin, la phase de suivi du projet a pour finalité d'analyser les informations de réalisation, afin de prendre, le cas échéant, toutes les mesures nécessaires au respect des objectifs. Elle est relativement difficile en raison de la complexité des produits proposés et du nombre souvent important des intervenants dans un projet complexe. Compte tenu du nombre élevé de données gérées et traitées par ces systèmes, un progiciel s'impose comme l'outil privilégié de pilotage. Trois approches semblent envisageables :

- un progiciel de gestion de projet. Les outils les plus complets assurent la gestion des trois étapes décrites précédemment, ainsi que les fonctions de gestion des données (activités, ressources, calendrier...), d'analyse financière, d'édition des graphes PERT ou de Gantt... En pratique, cependant, ces outils sont essentiellement adaptés au travail d'estimation et de suivi des délais ;
- un progiciel classique de gestion de production (à la commande essentiellement). Il va permettre le calcul des besoins, l'édition d'ordres d'achat et de fabrication échéancés, ainsi que la gestion des stocks et des charges. A notre connaissance, les progiciels de gestion de projet du marché ne sont pas réellement adaptés à la réalisation de ces tâches. A *contrario*, la plupart des progiciels de gestion de la production n'ont pas les capacités d'un progiciel de gestion de projet au niveau de l'estimation des délais (calcul des dates au plus tôt, au plus tard, des marges, du chemin critique), du suivi des délais, ou de la génération d'états et de graphiques. Seuls les plus puissants possèdent ces éléments (progiciels de type ERP), mais ils ne concernent souvent que de très gros systèmes ;
- un système hybride combinant les deux approches précédentes. Cette solution semble préférable. Toutefois, les applications de ce type sont encore très rares ou réservées aux grosses organisations (cf. point précédent). Il convient donc de développer un logiciel spécifique, ce qui est relativement complexe et délicat, ou de créer une interface entre deux applications du commerce. Cette dernière solution est particulièrement appréciable dans les systèmes qui ont, en plus de l'activité projet *stricto sensu*, une activité de production répétitive pour certains produits.

Le **type 12** (profil en V ou en I, flux linéaire et fabrication à la commande) regroupe des systèmes fabriquant à la commande, sur des lignes ou dans des cellules flexibles, des pièces élémentaires, paramétrables ou non. Dans ces systèmes, assez rares en pratique, on retrouve une

problématique proche de celle du type 9, mais il n'y a pas de phase d'assemblage à gérer. Deux approches peuvent être conseillées :

- un outil de gestion d'atelier. On conseillera un outil simple de « lancement/suivi »^{*} pour les organisations ne recherchant pas la saturation ou l'optimisation des moyens de production (cas des organisations relativement peu chargées ou disposant de possibilité de délestage), ou dans lesquelles le milieu n'est pas perturbé par les aléas, les urgences... Dans le cas contraire, un outil d'ordonnancement d'atelier sera retenu. Comme il n'y a pas de phase d'assemblage à gérer (nomenclature à un seul niveau), un module de calcul des besoins simple est suffisant ;
- un système axé sur une méthode de pilotage par les contraintes, en particulier dans les cas où une contrainte est clairement définie. On retrouve, toutefois, la même problématique que pour le type 3 : cette solution implique qu'on développe un outil spécifique.

Le **type 13** (profil en V ou en I, flux enchevêtré et fabrication à la commande) concerne essentiellement des systèmes de petite taille (PME) spécialisés dans la sous-traitance de spécialité ou de capacité. Ils façonnent, à la commande, des pièces standards ou spécifiques, voire des produits finis simples, avec l'aide de gammes de fabrication différentes. Il peut s'agir également d'ateliers spécialisés de grands groupes industriels, fabriquant pour les unités d'assemblage de ces groupes des pièces primaires (tôles cambrées, pièces usinées...), sur catalogues ou spécifiques. Le pilotage est délicat en raison de la combinatoire d'utilisation des équipements d'une gamme de fabrication à l'autre. Il passe par un suivi des pièces et une gestion adéquate des priorités dans l'utilisation des équipements. Les outils adaptés sont les mêmes que pour le type précédent. Si les produits sont spécifiques, l'outil sera adapté à la gestion à l'affaire (cf. le type 10). Quand les délais de production sont longs (plusieurs mois), la problématique est la même que pour le type 14.

Le **type 14** (profil en V ou en I, flux fixe et fabrication à la commande) est un cas particulier du type précédent. Les pièces fabriquées sont très spécifiques (uniques ou produites en très petites séries), les volumes très faibles (quelques produits par an), et les pièces souvent d'une grosseur telle qu'elles nécessitent un aménagement fixe pour limiter les déplacements. On citera le cas des fabrications de pièces spéciales pour les équipements industriels de la métallurgie, ou de l'énergie (engrenages, moules, matrices...). Les problèmes indiqués pour le type 13 sont exacerbés en raison de la très grande spécificité et de la très grande complexité des produits et de la longueur des cycles de fabrication. On se retrouve dans une logique de gestion de projet, avec les problèmes classiques de coordination des différentes tâches à réaliser et d'utilisation appropriée des équipements. Cependant, contrairement au système de type 11, il n'y a pas à gérer l'imbrication dans le temps de milliers de composants, et il n'est pas nécessaire d'établir une description détaillée « étude » et « méthodes » des fabrications. On peut gérer les affaires sans écrire de gammes opératoires ni de nomenclatures détaillées. Un outil

^{*} Ces outils possèdent des fonctions de suivi de production et des coûts, de gestion des lancements, des stocks et des données techniques, de planification des capacités. Ils ne permettent pas la réalisation d'ordonnancement.

d'ordonnement d'atelier, adapté à la gestion à l'affaire et possédant une fonctionnalité d'ordonnement de type PERT pour le travail à l'affaire, conviendra souvent dans ce cadre. Son objectif est d'évaluer les délais, la charge et les coûts, de pointer les heures passées et les matières consommées, et visualiser l'avancement, par affaire, pour mesurer les écarts par rapport au devis.

Le **type 15** (profil des produits à options et variantes, flux linéaire et fabrication à la commande) regroupe des systèmes de production dans lesquels des produits très différenciés, mais disposant d'une base commune, sont produits à la commande. Il s'agit essentiellement de systèmes dont les produits diffèrent par des options et des variantes induisant des modifications aux différents niveaux de la nomenclature et qui ne peuvent donc pas anticiper. Nous pouvons citer le cas d'une entreprise fabriquant des cuisines en grande quantité : l'usinage des carcasses et des façades de meubles se fait par lots, et la personnalisation client proprement dite se fait le plus tard possible dans le circuit de production suivant les différents composants, les différents coloris, ou les différentes dimensions. Dans ce cas, il faut envisager le recours à un outil de gestion à la commande, qui autorise également des regroupements d'OF en amont du stade de différenciation. On se rapproche d'un outil MRP classique, mais sans les modules de planification de la production. Les calculs de besoins se font directement à partir du carnet de commandes. Cet outil, comme pour le type 9, doit disposer d'un module d'ordonnement fin permettant des lissages à capacité finie, lorsque l'environnement est perturbé.

Le **type 16** (profil des produits à options et variantes, flux enchevêtré et fabrication à la commande) est très proche du type précédent. Toutefois, il concerne des producteurs qui n'ont pas un volume suffisant pour organiser leur production en lignes. On citera, par exemple, le cas de petits producteurs de meubles (canapés), qui produisent uniquement à la commande et font des regroupements au niveau des sous-ensembles communs à plusieurs produits (les carcasses notamment). Les outils adaptés sont les mêmes que pour le type 15. Toutefois, l'ordonnement est plus complexe. Dans le cas où les délais de production sont très longs, on tombe dans une logique de gestion de projet (cf. point suivant).

Le **type 17** (profil des produits à options et variantes, flux fixe et fabrication à la commande) est un cas particulier du type 16, caractérisé par une fabrication unitaire, à la commande, de produits complexes composés de plusieurs milliers de pièces. On se rapproche donc du type 11. Toutefois, les produits ne sont pas entièrement spécifiques. Il s'agit de produits à options et variantes paramétrables à la commande à partir d'un catalogue préexistant, ou de produits adaptés à chaque commande pour intégrer le souhait des clients ou de nouvelles évolutions. Les systèmes concernés sont, par exemple, les grandes entreprises du domaine de l'aéronautique. Les méthodes et les outils adaptés sont les mêmes que pour le type 11. Toutefois, des regroupements de besoins sont envisageables entre plusieurs commandes (base commune). La solution préférable passe donc par une combinaison d'une GPAO classique, disposant d'un module de calcul des besoins permettant des calculs MRP et par affaire, et d'un outil de gestion de projet. Comme les entreprises concernées par ce mode sont essentiellement des entreprises de grande taille, un outil de type ERP intégrant les deux approches semble la meilleure solution.

Ce modèle en 17 types a été testé à ce jour auprès de quatre entreprises. L'analyse montre qu'il y a une correspondance convenable entre les situations observées et les propositions théoriques du modèle et explique les écarts constatés par l'influence de divers facteurs managériaux intervenant dans le processus décisionnel. On citera par exemple la volonté stratégique d'intégration des applications de gestion, qui, dans le cas d'organisations multi-sites, oriente le choix vers des outils de gestion intégrée (du type ERP), même si, à l'échelle du site, la solution retenue n'est pas forcément adaptée au contexte de pilotage ou aux contraintes rencontrées. Notre analyse montre également que le modèle proposé, malgré les critères de classification retenus, n'occulte pas entièrement la problématique des systèmes de production dits « mixtes », qui caractérisent des systèmes pouvant se positionner dans plusieurs cases du modèle. Il s'agit notamment du cas où différents modes de réponse au marché sont utilisés au sein du même système, ou du cas où différents profils de flux cohabitent. Au regard du nombre de situations envisageables, c'est une interprétation au cas par cas qu'il faut réaliser. Nous proposons la démarche suivante : après avoir déterminé les types couverts par un positionnement dans la ou les matrices d'aide au choix du ou des sites étudiés (cas des groupes ou des organisations multi-sites), il faut envisager deux situations. Dans le cas où la solution adaptée à un type recouvre les besoins de tous les autres types, on retient celle-ci en vérifiant l'absence de problèmes de cohabitation entre les différentes approches. Dans le cas où il est impossible de faire un compromis entre les différentes possibilités propres à chaque type, il faut envisager le cas d'une solution globale. Certains outils ERP permettent, par exemple, d'utiliser conjointement différentes méthodes de pilotage. Cette approche nous semble préférable aux combinaisons de solutions spécifiques dans différents ateliers, même s'ils sont indépendants, pour des raisons de cohérence des données et de synchronisation d'ensemble.

5. Conclusion

Le modèle proposé prend en compte la diversité des méthodes et des outils disponibles, notamment au niveau des outils GPAO, en précisant les modules adaptés. Il intègre simultanément les approches contingente, intégrative et comparative du choix, et, dans les cas les plus complexes (systèmes mixtes, organisations multi-sites), il peut être aménagé. Dans sa forme actuelle, il reste néanmoins d'une lecture délicate, compte tenu du nombre important de classes traitées. Deux voies de recherche seraient à explorer : une simplification de la grille de lecture par réduction du nombre de profils, et le développement d'un outil de type « système expert » qui, en définissant les caractéristiques de l'organisation étudiée, permettrait de conseiller l'approche la plus adaptée à cette organisation.

6. Bibliographie

- Aggarwal, S. et S. Aggarwal (1985), " The Management of Manufacturing Operations ", *International Journal of Operations and Production Management*, n°5, p.21-38.
- Belt, B. (1987), " MRP and Kanban : A Possible Synergy ? ", *Production and Inventory Management*, n°1, p.71-80.

- Bironneau, L. (1998), « Les déterminants du choix d'un système de pilotage de la production », *Actes des XIV^{èmes} Journées Nationales des IAE*, Tome 4, p.201-213.
- Bironneau, L. (1999), *Le choix des méthodes et outils de pilotage en milieu industriel – éléments d'analyse et proposition d'un référentiel d'aide au choix*, thèse de doctorat de l'Université de Rennes 1, mention sciences de gestion.
- Browne J., Harhen J. et J. Shivnan (1994), *Les systèmes de production dans un environnement CIM*, AFNOR.
- Fox, R. (1982), "MRP, Kanban, or OPT - What's Best?", *American Production and Inventory Control Society 25th Annual International Conference Proceedings*, p.482-486.
- Gallois, P.-M. (1989), "Typologie des entreprises industrielles", *Revue Française de Gestion Industrielle*, n° 1, p.5-13.
- Gelders, L. et L. Van Wassenhove (1985), "Capacity Planning in MRP, JIT and OPT: a Critique", *Engineering Costs and Production Economics*, n°9, p.201-209.
- Goldratt, E. et R. Fox (1986), *The Race*, North River Press.
- Golhar, D. et C. Stamm (1991), "The Just-In-Time Philosophie: A Literature Review", *International Journal of Production Research*, n° 4, p.657-676.
- Hatchuel, A. et J.-C. Sardas (1992), "Les grandes transitions contemporaines des systèmes de production. Une démarche typologique", in *Les Nouvelles rationalisations de la production*, G. De Terssac et P. Dubois, Cepaduès Editions, p.1-23.
- Karmarkar, U. (1989), "Getting Control of Just-In-Time", *Harvard Business Review*, Septembre-Octobre, p.122-131.
- Kieffer, J.-P. (1986), "Les systèmes de production, leur conception et leur exploitation", thèse d'Etat de l'université d'Aix-Marseille, Sciences Economiques..
- Marris, P. (1994), *Le Management Par les Contraintes en gestion industrielle*, Les Editions d'Organisation.
- L'Anton A. (1995), « Quelle organisation de gestion de production pour la petite et moyenne entreprise », *Revue Française de Gestion Industrielle*, n°1, p. 52 à 68.
- Miltenburg, J. (1997), "Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP", *International Journal of Production Research*, n° 4, p.1147-1169.
- Molet, H. (1986), "MRP-Kanban : le faux dilemme", *Revue Française de Gestion Industrielle*, n°3, p.49-61.
- Newman, W. et V. Sridharan (1992), "Manufacturing Planning and Control: Is There One Definitive Answer?", *Production and Inventory management Journal*, n°1, p.50-53.
- Plenert, G. et T. Best (1986), "MRP, JIT, and OPT: What's Best?", *Production and Inventory Management*, n°2, p.22-28.
- Ptak, C. (1991), "MRP, MRP2, OPT, JIT and CIM -Succession, Evolution, or Necessary Combination", *Production and Inventory Management Journal*, n°2, p.7-11.
- Reimer, G. (1991), "Material Requirements Planning and Theory of Constraints: Can They Coexist?", *Production and Inventory Management Journal*, n°4, p.48-52.
- Spencer, M. (1991), "Using the Goal in an MRP System", *Production and Inventory Management Journal*, n°4, p.22-27.

Vincent, C. (1993), *Choisir une gestion de production*, Publications CETIM, 2^e éd.

Woodward, J. (1965), *Industrial Organisation : theory and Practice*, Oxford, University Press, 1965.