

Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique

Vincent Giard¹ & Gisèle Mendy²

Résumé

Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone constitue une alternative aux configurations logistiques de proximité souvent utilisées dans les chaînes logistiques orientées vers la production de masse de produits fortement diversifiés et devant satisfaire très rapidement les clients, comme c'est le cas dans l'industrie automobile. Cette transformation offre de nouveaux degrés de liberté susceptibles, sous certaines conditions, d'apporter des gains d'efficacité. Figer plus tôt certaines décisions accroît le risque de divergence entre prévision et réalisation. De nouveaux mécanismes correcteurs doivent être imaginés. On s'attache ici à identifier ces transformations et leurs conséquences pour les partenaires de la chaîne logistique, en s'appuyant sur le concept de Point de pénétration de commande qui facilite l'analyse de l'interdépendance entre les processus d'une entreprise et ceux de ses fournisseurs

Mots clefs: chaîne logistique, processus, point de pénétration de commande, différenciation retardée, production synchrone.

Abstract

The transition from synchronous supplies to synchronous production represent a possible alternative to the neighbourhood logistics configurations, especially in the automotive industry. It permits to gain, on certain conditions, efficiency and more freedom of manoeuvre faced with a strong variability of the demand on the supply chain. By freezing some decisions earlier, it has for consequence a risk of change between what is expected and what is realized, which is necessary to counter by the implementation of new correctives mechanisms. This article will identify the changes and consequences for partners of the supply chain. The utilization of the concept of Order Penetration Point (OPP) make the analyse of interdependence between client's process and supplier's process easier.

Key Words: supply chain, process, Order Penetration Point, postponed customization, synchronous production.

L'approche de la production à flux tendus suivant les principes du Juste-À-Temps (JAT) s'est diffusée dans les entreprises occidentales dès le début des années quatre-vingt. Au cours de la décennie suivante, les concepts de chrono-compétition et de chaîne logistique se sont progressivement imposés sous la pression de la globalisation. Ils ont déclenché une tension plus grande sur les flux, conduisant au développement de relations durables entre donneurs d'ordres et fournisseurs, nécessitant une proximité géographique plus forte de processus proches de celui de l'assemblage final. Ils ont aussi induit une vision plus systémique du réseau de processus sollicités, impliquant la prise en compte simultanée de logiques locales liées à des périmètres juridiques différents et d'une vision globale d'amélioration de l'efficacité. Ce changement de perspectives a des impacts sur le JAT et conduit certaines industries, comme celle de l'automobile, à passer progressivement d'une logique d'approvisionnement synchrone à celle de production synchrone, modifiant sensiblement le périmètre spatio-temporel de l'analyse. Cette évolution permet, sous certaines conditions, des gains d'efficacité et modifie les degrés de liberté, les contraintes et les risques encourus pour les partenaires de la chaîne logistique. On s'attachera ici à l'analyse de ces transformations et de leurs conséquences sur le plan stratégique, tactique et opérationnel. Le problème du partage de la valeur créée et des risques induits

1. Lamsade, université Paris Dauphine, {vincent.giard@dauphine.fr}

2. Lamsade, université Paris Dauphine, {gisele.mendy@renault.com}

par ces transformations est fondamental parce qu'il conditionne la pérennité de la chaîne logistique et la survie de certains de ses acteurs. Il ne sera cependant pas abordé ici, l'analyse se centrant sur l'examen des transformations potentielles des processus. L'industrie automobile sera retenue comme exemple car c'est la plus avancée dans cette évolution qui concerne les industries orientées vers la production de masse de produits personnalisés (Anderson & Pine, [3], 1997).

Dans une première partie, on examinera l'importance de la synchronisation dans la chaîne logistique et on précisera quelques concepts mobilisables dans son analyse. Dans une seconde partie (§ 2), on analysera les implications du concept de point de pénétration de commande et de son déplacement, permettant de passer de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone.

1 Synchronisation et chaîne logistique

La synchronisation des processus productifs est une préoccupation déjà ancienne (§ 1-1). Elle conduit à adopter une vision plus systémique du réseau des processus sollicités et à poser le problème de la performance du pilotage des flux à un niveau plus global. Dans le contexte industriel retenu ici, le JAT n'assure de manière efficiente la synchronisation des processus que pour une fraction des approvisionnements des lignes d'assemblage; d'autres mécanismes de synchronisation sont utilisés ou en phase d'expérimentation (§ 1-2). La mobilisation du concept de pénétration de point de pénétration de commande (PPC), facilite l'analyse de l'interdépendance entre les processus d'une entreprise et ceux de ses fournisseurs (§ 1-3).

1-1 La synchronisation des processus

La chaîne logistique a pour principal intérêt de forcer à une vision processus conduisant à l'analyse et la résolution de problèmes interdépendants le plus souvent traités de manière indépendante. Cette volonté d'intégration et de coordination des activités complique le pilotage des flux. Une «relecture» des processus s'impose pour permettre une meilleure visibilité des interactions entre sous-systèmes.

La chaîne logistique peut s'analyser comme un enchaînement de processus de production ou de transport, dans une perspective «client-fournisseur». Le processus de production est défini ici avec une granularité telle que sa production porte sur une ou plusieurs références de produit fini ou de composant. Cette relation explicite entre processus et nomenclature permet de poser clairement le problème de la synchronisation des processus, les états intermédiaires d'un produit obtenus à l'intérieur d'un processus ainsi défini ne faisant l'objet d'aucune demande par un autre processus. On commencera par préciser les différences qui existent entre productions à flux tirés et à flux poussés (§ 1-1.1) qui doivent tenir compte d'une possible évolution dans le niveau de précision de la demande exprimée (§ 1-1.2), avant de discuter du concept de synchronisation (§ 1-1.3).

1-1.1 Productions à flux tirés et flux poussés

La distinction entre production pour stock et production à la commande est classique. Le rappel de leurs caractéristiques permet de mieux comprendre la différence entre production à flux poussés et production à flux tirés.

La production à la commande d'un produit fini ou intermédiaire suppose l'existence d'une demande effective d'un client, préalablement à toute mise en production, alors que la production pour stock se fonde sur une demande prévisionnelle, avec ce que cela implique d'incertitude sur les quantités demandées et les moments précis où ces demandes se concrétiseront. L'analyse des gammes et de la nomenclature d'un produit complexe permet d'estimer, pour chaque référence utilisée par ce produit fini, l'intervalle de temps minimal qui sépare le lancement en production de la référence, du moment où s'achève l'assemblage du produit fini intégrant cette référence³. Si le plus grand de ces intervalles minimaux reste inférieur à l'intervalle de temps séparant la commande du client de sa

livraison, la production à la commande du produit fini et de tous ses composants est possible. Dans le cas contraire tout ou partie des composants devra normalement être fabriqué pour stock mais, même s'il est possible de produire tout ou partie à la commande, il peut s'avérer plus intéressant de produire pour stock ; c'est le cas de production de masse de produits faiblement diversifiés et consommés avec une certaine régularité (petits appareils ménagers, par exemple). On parle d'assemblage à la commande dans le cas de production de produits finis fortement diversifiés fabriqués à partir d'un nombre limité d'ensembles faiblement diversifiés de composants ou de sous-ensembles plus ou moins interchangeables au montage, généralement conçus dans une approche modulaire, ces composants et sous-ensembles étant le plus souvent fabriqués pour stock et l'assemblage final s'effectuant pour répondre à des commandes de clients.

La recherche d'une meilleure réactivité commerciale ou le caractère fortement saisonnier de la demande incitent à accroître la part de la production sur stock, en déplaçant cette frontière vers les références de niveau 0, pour pouvoir satisfaire la demande dans des conditions économiques acceptables. En amont de la frontière, la production s'effectue normalement sur la base d'anticipations (flux poussés) et, en aval, elle est déclenchée par la demande effective du client du processus concerné (flux tirés). Dans le premier cas, les ordres de fabrication (OF) sont créés par un service de planning sur la base d'un ensemble cohérents de prévisions. Dans le second cas, ces OF sont créés sur la base de commandes de clients. Dans le JAT, les kanbans jouent le rôle d'ordres de fabrication ouverts permettant le recomplètement des stocks au fur et à mesure de leurs consommations. Mais pour pouvoir piloter les flux de la chaîne logistique par le JAT, il faut que les processus productifs disposent tous de capacités d'adaptation aux variations de la demande en volume et en structure et que celles-ci soient anticipées à temps pour permettre de modifier au bon moment le nombre de kanbans en circulation. Si tel n'est pas le cas, des désamorçages se produisent nécessairement en l'absence de stocks de sécurité dont l'existence est jugée préjudiciable par les tenants du JAT. On examinera ultérieurement d'autres formes de pilotage de la production à la commande, avec l'approvisionnement synchrone et la production synchrone.

Pour terminer, il convient de noter que la production à flux tendus n'élimine pas toujours les stocks mais en modifie la localisation (Paché et Sauvage, 1999, [20], p. 47-51). Ceux-ci ont tendance à remonter vers l'amont des processus. Une partie des processus de fabrication s'appuie sur le JAT, tandis que l'autre se base sur des prévisions et produit à flux poussés.

1-1.2 Vers une plus grande précision de la demande

En matière d'approvisionnement, l'incertitude génère des coûts additionnels liés à l'existence de stocks de précaution, de ruptures de stock ou à la mobilisation momentanée de ressources pour faire face rapidement à un excédent de charge non prévu. Depuis une vingtaine d'années, les relations entre les grandes entreprises et leurs fournisseurs se sont progressivement transformées par des accords de partenariat permettant de garantir la qualité et de limiter l'incertitude, et donc de diminuer les coûts. Ces nouvelles relations font passer d'une situation caractérisée par un passage tardif et brutal d'une absence d'information à une information précise, à une situation dans laquelle le client s'engage progressivement et relativement tôt, vis-à-vis de son fournisseur, sur une demande de plus en plus précise au fur et à mesure que l'on s'approche de la livraison.

Cette évolution de la précision de l'engagement contractuel du client peut prendre deux formes non exclusives :

3. Selon le contexte, les techniques d'ordonnement de la série unitaire ou celles de la MRP peuvent être mobilisées pour obtenir cette information. On reviendra sur ce point au § 1-3 et à la figure 2.

- Il peut tout d'abord s'agir d'engagement sur des fourchettes relatives au volume de la demande, à sa composition (répartition entre plusieurs références) et aux dates de livraison. Cette focalisation progressive permet au fournisseur de mieux gérer sa capacité et de s'assurer de la disponibilité des composants nécessaires en limitant le risque de stockage excessif.
- Il peut également s'agir de geler d'abord le volume (V), puis la structure (S). L'approvisionnement synchrone (voir § 1-2.1) conduit dans certaines industries de masse produisant des produits fortement diversifiés, comme l'industrie automobile, à demander au fournisseur à livrer un ensemble de composants différents dans un certain ordre (encyclage) en raison des contraintes d'espace disponible en bord de chaîne; dans ce cas, la troisième incertitude à lever est celle l'ordre (O) de composants substituables à livrer à un poste d'assemblage. En règle générale, on passe d'une connaissance très grossière sur ces trois composantes (\overline{VSO}), à des étapes où l'on fige successivement le volume (\overline{VS}), puis la structure (\overline{VS}) et, enfin, l'ordre (VSO). Un quatrième niveau d'incertitude est parfois à prendre en compte, celui de la date de livraison souhaitée qui peut prendre de l'avance ou du retard en raison de variations imprévues de la vitesse du flux sur la ligne.

Cette seconde forme de précision succède souvent à la première, lorsque l'on se rapproche de la livraison à effectuer.

Par rapport à ce qui a été dit au § 1-1.1, l'introduction d'un niveau variable de certitude dans l'information communiquée au fournisseur conduit à faire «remonter dans sa nomenclature» la partie de production que l'on peut considérer comme étant réalisée à la commande et, corrélativement, à produire pour stock, la partie incertaine faisant l'objet de stocks de sécurité.

1-1.3 Synchronisation

Le concept de synchronisation est habituellement associé à celui de coordination en temps réel du fonctionnement de plusieurs systèmes pour atteindre un objectif de performance global. Les procédures de pilotage des processus concernés exploitent des informations venant des autres processus liés par la synchronisation même si, le plus souvent, le flux d'information est à sens unique allant des processus-clients vers les processus-fournisseurs. Cette coordination en temps réel n'exclut pas que la réaction d'un système aux informations transmises par un autre système puisse avoir des effets différés (par exemple, nécessaire évolution du nombre de kanbans d'une référence en JAT). Selon le niveau de latence accepté, le périmètre d'application du concept de synchronisation est plus ou moins large mais il semble préférable de rester dans le cadre de décisions opérationnelles. L'efficacité et l'efficience de cette synchronisation dépendent de l'organisation retenue et des procédures mobilisées.

La production à flux tirés pilotée en JAT, en approvisionnement synchrone ou en production synchrone possède ces caractéristiques de synchronisation. La production à flux poussés cherche à garantir la cohérence temporelle des décisions de production prises au niveau des différents processus productifs, sur la base de demandes prévisionnelles et de données techniques (gammes, nomenclature...) et de gestion. On ne peut que difficilement la considérer comme s'appuyant sur des mécanismes de synchronisation: la qualité imparfaite des prévisions oblige à mobiliser des mécanismes correcteurs additionnels pour rendre cohérentes les décisions prises dans les différents systèmes concernés pour les différents horizons décisionnels⁴; par ailleurs, la production pour stock induit un certain découplage des processus par les stocks créés, introduisant de la désynchronisation. Si des mécanismes correctifs sont nécessaires dans le cas de l'approvisionnement synchrone ou de la production synchrone, ils n'interviennent pas de manière importante.

Ces remarques conduisent à associer le concept de synchronisation à des mécanismes de coordination en temps réel de décisions entre processus n'impliquant pas de remises en cause importantes et fréquentes de ces décisions par des mécanismes correcteurs. Ces mécanismes correcteurs ne font

partie des mécanismes de synchronisation que si leur rôle reste marginal, ce qui implique une bonne fiabilité des informations utilisées.

On a indiqué en introduction que la tension sur les flux avait conduit à l'approvisionnement synchrone, puis à la production synchrone. Examinons rapidement ce qui caractérise ces formes de synchronisation des processus.

1-2 Approvisionnements et flux synchrones

Le pilotage des flux par le système kanban pour assurer la synchronisation de processus est possible sous certaines conditions (§ 1-2.1). L'approvisionnement synchrone (§ 1-2.2) et la production synchrone (§ 1-2.3) constituent des alternatives de pilotage de ces flux. Rappelons que la production du client auquel on s'intéresse ici est une production de masse de produits diversifiés.

1-2.1 Le système kanban

Dans le JAT, un kanban est un ordre de fabrication ouvert d'une référence assurant le recomplètement du stock de ce composant. Le nombre de kanbans est défini par le taux de demande du composant, la taille du lot et le temps mis par un kanban à parcourir le circuit complet le ramenant à son point de départ⁵. Le centre de fabrication de la référence et son centre de consommation — qui peuvent ou non appartenir à la même entité juridique — sont liés par des flux de kanbans isolés ou accrochés à des conteneurs pleins. Le système kanban est donc en mesure d'assurer, sous certaines conditions (stabilité et lissage de la demande du composant...), une synchronisation entre un processus-client et son (ou ses) processus-fournisseur(s).

Sur une ligne d'assemblage d'un processus-client, un poste peut être amené à monter des composants interchangeables (par exemple, bouclier à choisir parmi vingt teintes différentes en fonction de la couleur du véhicule) et/ou des composants optionnels (par exemple, toit ouvrant), opération de montage contribuant à la variété désirée de la production. Le pilotage par kanban de l'approvisionnement de ces composants auprès du fournisseur, supposé ici unique pour l'approvisionnement de ce poste, n'est pas toujours possible et peut s'avérer relativement onéreux.

- S'il s'agit de monter des composants interchangeables, la taille du stock en bord de ligne alimentant le poste d'assemblage des composants interchangeables peut ne pas être compatible avec l'espace disponible en raison d'une variété trop forte. En effet, l'encombrement maximal est déterminé par l'ensemble des kanbans des références consommées par ce poste, ce qui se réalise en cas d'arrêt prolongé de la chaîne. Ce nombre de kanbans est nécessairement plus important s'il est difficile de garantir le lissage de la demande de chaque composant. Accessoirement, la multiplication des stocks accroît le risque d'erreur de sélection de la «bonne» référence à monter.
- Le problème des composants optionnels se pose surtout lorsque ceux-ci sont encombrants et chers, sachant qu'il arrive que l'on puisse avoir le choix entre plusieurs composants optionnels interchangeables. Là encore, la taille maximale du stock de bord de chaîne est définie par l'ensemble des

4. Le pilotage des flux à moyen terme peut être assuré par des techniques de la MRP (*Manufacturing Resources Planning*) mises au point à la fin des années soixante-dix et prolongées par celles de la DRP (*Distribution Requirement Planning*) au début des années quatre-vingt pour les entreprises désireuses de gérer simultanément production et distribution (cf. Giard, 2003, [11]). Les mécanismes correctifs reposent sur une prise en compte d'aléas par des stocks de sécurité, l'usage de la planification glissante et le couplage retenu entre planification et ordonnancement. Le passage à la DRP (Martin, 1983, [19]) a conduit à s'interroger sur la pertinence des règles de pilotage des flux dans un environnement instable et à en proposer de nouvelles (voir, par exemple, Wemmerlov & Whybark, 1984, [26], et C. Ho, 1992, [13]).

5. Si le centre de fabrication d'une référence fournit plusieurs centres de consommation, on opère une distinction entre kanbans de fabrication et de kanbans distribution. Par ailleurs, un centre de fabrication peut produire des références différentes. La prise en compte de ces hypothèses ne modifie pas les bases du fonctionnement du système kanban.

kanbans de la référence consommée par ce poste et l'absence de garantie de lissage de la demande augmente ce nombre de kanbans.

En conclusion, l'augmentation de la variété limite le champ d'application du système kanban, sans pour autant l'exclure.

1-2.2 L'approvisionnement synchrone

Pour éviter les problèmes évoqués ci-dessus, il suffit de livrer au début de chaque période ce qui sera consommé au cours de cette période sur ce poste, dans l'ordre exact de la consommation des références (encyclage). On parle d'approvisionnement synchrone lorsque la réquisition est transmise au fournisseur quelques heures à l'avance. La brièveté de l'anticipation de cette réquisition a conduit à mettre en place des organisations spécifiques, en particulier dans l'industrie automobile. Le fournisseur s'est trouvé contraint à se rapprocher physiquement du client. Le choix de configurations pour des fournisseurs dans l'industrie automobile a été abordé notamment par Lambert (2002, [5]) dans une optique intégrant la logistique et la production, avec la mise en évidence des degrés de liberté dont on dispose dans la localisation de certaines opérations. La figure 1 s'inscrit dans la continuité de cette réflexion, en schématisant les deux solutions, non exclusives, utilisées (cas 2 et 3):

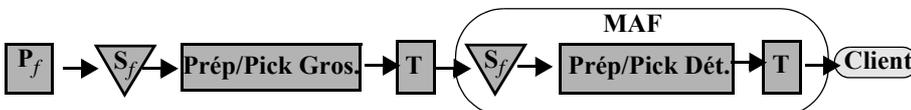
FIGURE 1

Configurations logistiques possibles sur des délais courts d'approvisionnements

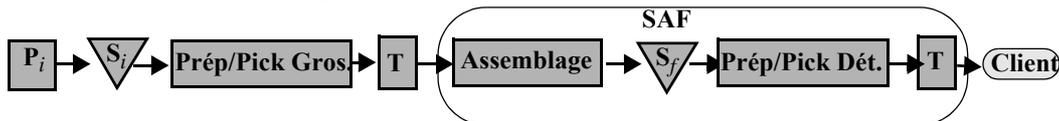
CAS 1: Configuration logistique classique



CAS 2: Configuration logistique avec implantation de MAF



CAS 3: Configuration logistique avec implantation de SAF



P_f : Production de produits finis

S_f : Stockage de produits finis

Prép/Pick Dét.: Préparation et *picking* détaillé

P_i : Production de produits intermédiaires

S_i : Stockage de produits intermédiaires

Prép/Pick Gros.: Préparation et *picking* grossier

T: Transport

- Les circuits de distribution physiques peuvent être adaptés par la création de Magasins Avancés Fournisseurs (MAF) localisés à proximité du client. Cette délocalisation des stocks de produits finis présente l'avantage de réduire le temps de réaction du fournisseur et l'inconvénient de multiplier ses points de stocks (et donc les stocks de sécurité), si le client a plusieurs sites de production. C'est dans ces MAF que la préparation de la livraison et l'encyclage sont réalisés.
- On peut également modifier la localisation de certaines opérations de production dans des Sites Avancés Fournisseurs (SAF) qui réalisent, de surcroît les opérations des MAF. Cette solution s'avère nécessaire pour l'approvisionnement synchrone de composants volumineux ou chers à forte différenciation retardée⁶, impliquant un assemblage à la commande (sellerie automobile, par exemple), si l'usine fabriquant ces composants est éloignée du client. Les avantages et inconvénients du MAF sont ceux du SAF, à ceci près que les investissements d'un SAF sont nettement plus importants.

6. Voir Tarondeau, 1982, [23], et Agard, 2002, [1].

Dans certaines industries, plusieurs fournisseurs d'un même site de client (ou de plusieurs clients proches) peuvent être installés dans une même zone industrielle qualifiée de parcs fournisseurs⁷.

Pendant longtemps, les sites de production de l'industrie automobile ont été spécialisés par gamme de véhicules. La conception «moderne» de ces produits, s'appuyant sur l'approche de plateformes communes à plusieurs gammes et le partage de plus en plus important de composants par plusieurs gammes, a rendu possible la conception de lignes permettant de produire et d'assembler des véhicules de gammes différentes⁸. Cette évolution permet globalement au système productif de faire face à une certaine variabilité de la structure de la demande. Le nombre d'usines susceptibles d'intervenir sur la même gamme a tendance à croître⁹, ce qui oblige les fournisseurs à multiplier les MAF et SAF, dans des conditions économiques difficilement compatibles avec la réduction des coûts exigées par leurs clients. Le client peut contrer jusqu'à un certain point cet impact défavorable en augmentant le partage de composants par plusieurs gammes. Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone constitue alors autre alternative permettant de concilier, sous certaines conditions, baisse des coûts et efficacité de réponse à la forte variabilité de la demande en structure.

1-2.3 La production synchrone

La nécessité de satisfaire rapidement les clients dans un contexte fortement concurrentiel a conduit certaines industries, principalement celle de l'automobile, à raccourcir le délai séparant la prise de commande d'un produit personnalisé, de sa livraison au client et à garantir ce délai, alors qu'avant ce délai variait en fonction des possibilités de la production et des approvisionnements. Ce pilotage direct de la production par le carnet de commande pose, pour le fabricant, de redoutables problèmes que l'on n'abordera pas ici en nous focalisant sur les fournisseurs.

Le «gel» de ce qui doit être produit quelques jours à l'avance permet de transmettre au fournisseur les mêmes informations que celles transmises dans le cadre de l'approvisionnement synchrone mais avec quelques dizaines d'heures d'avance au lieu de quelques heures d'avance. Les informations fournies permettent alors au fournisseur d'agir plus en amont dans sa production et de mieux la rationaliser compte tenu de la réduction d'incertitude. On peut parler alors de production synchrone, dans la mesure où les informations partagées par le client et le fournisseur permettent aux deux parties de produire exactement ce qui est demandé. Cette transformation s'accompagne d'une modification des risques que l'on examinera au § 2-3.

L'usage du concept de point de pénétration de commande permet de mieux comprendre comment le client «rentre» chez le fournisseur, que ce soit en approvisionnement synchrone ou en production synchrone, avec ce que cela implique sur la marge de manœuvre dont il dispose.

-
7. En 2004, le parc-fournisseurs de l'usine de la Sata (filiale de Fiat) situé à Melfi regroupait 25 équipementiers de premier rang dans le consortium ACM sur une zone industrielle de 700 000 mètres carrés et faisait travailler 3 500 salariés. En France, on trouve sur le site d'Hambach de MCC (filiale de DaimlerChrysler) qui produit la Smart, un parc-fournisseurs réunissant 7 équipementiers. Chez Renault de tels parcs, qualifiés de parcs intégrés fournisseurs (PIF) se retrouvent sur les sites de Sandouville (en 2004, 6 équipementiers employant 1 500 salariés occupent un bâtiment cloisonné de 36 000 mètres carrés) et de Douai.
 8. La diversité que peut absorber une ligne est liée à sa conception et se traduit par un ensemble de contraintes que doit respecter l'ordonnancement (voir Giard & Jeunet, 2004, [12]). Pour fixer les idées sur cette polyvalence de lignes d'assemblage, chez Renault en 2005, une ligne d'assemblage de l'usine de Douai permet de panacher la production des modèles Mégane Scénic, Coupé Cabriolet Mégane et Berline Mégane; à l'usine de Sandouville, une ligne d'assemblage permet de panacher les modèles Espace et Laguna tandis qu'une autre en fait autant pour les modèles Vel Satis et Laguna; à l'usine de Bursa, une ligne d'assemblage permet de panacher les modèles Berline Mégane et Clio tandis qu'une autre en fait autant pour les modèles Master et Nissan XTRA.
 9. Par exemple, chez Renault, la Mégane est produite sur les sites de Douai, Palencia et Burga.

1-3 Analyse des mécanismes du point de pénétration de commande sur une chaîne logistique

Dans toute chaîne logistique, un processus de production ou d'assemblage mobilise d'autres processus de production qui fabriquent les composants requis. Lorsque ces processus-amont sont internes à l'entreprise, le pilotage de ces processus est facilité par le fait qu'ils s'inscrivent dans le même périmètre juridique. Il n'en est plus de même lorsque les processus-amont appartiennent à d'autres entités juridiques, leurs objectifs, structures et procédures n'ayant, a priori, guère de raisons d'être compatibles avec ceux de leur client; ce problème se complique pour les fournisseurs travaillant pour plusieurs clients pouvant avoir des exigences contradictoires. La compréhension des interdépendances entre les processus du client et ceux du fournisseur est facilitée par l'analyse des conséquences du positionnement du point de pénétration de commande (PPC) dans les processus du fournisseur. Après avoir défini dans un premier temps le PPC (§ 1-3.1), on verra que son impact dépend du type d'interaction entre nomenclature et gammes de production chez le fournisseur (§ 1-3.2).

1-3.1 Définition du point de pénétration de commande

Ce concept, peu traité dans la littérature, est relativement ancien. Il s'inscrit dans la réflexion conduite sur le *postponement*, en usage dès 1920 et formalisé dans les années cinquante (Alderson, 1950, [2]). Selon ce concept, l'entreprise doit retarder le plus possible l'exécution de certaines opérations de production, d'assemblage ou de conditionnement en ne les déclenchant qu'à la réception de commandes fermes pour répondre, sans stock inutile, aux besoins exacts exprimés par le client. La mise en œuvre de ce principe sur la chaîne de valeur dépend, entre autres, du délai de réponse commercialement admissible séparant une commande ferme, de sa livraison. Si ce délai est court, des stocks de composants et sous-ensembles doivent être constitués en anticipation de la demande. L'augmentation de la diversité des produits et la diminution de ce temps de réponse conduisent à déplacer ces stocks vers l'aval du processus de production; l'appel à la différenciation retardée dans la conception des nouveaux produits permet de contrer ce déplacement économiquement coûteux.

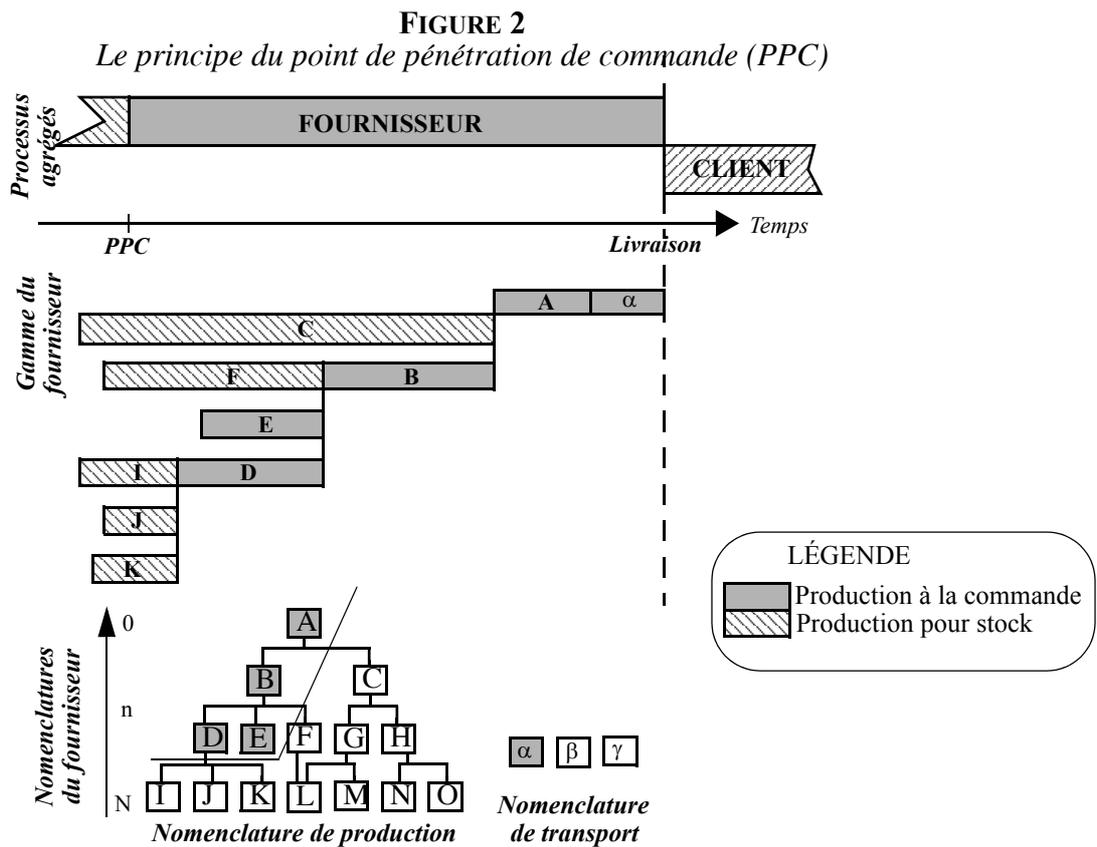
Le concept de point de pénétration de commande peut également faire référence à celui de «point de découplage» (*CODP, Customer Order Decoupling Point*) introduit par la *Philips Logistics School* aux Pays-Bas et défini comme «le point sur la chaîne logistique où l'ordre du client pénètre». Philips est parti du constat que l'ensemble de ses processus ne pouvant fonctionner à la même vitesse nécessitait l'introduction d'un point de découplage. Biteau *et al.* (1998, [6]) assimilent ce point de découplage à un curseur évoluant sur la profondeur du processus de production et qui fixe le moment où le flux de production cesse d'être piloté sur prévisions et est piloté sur commandes connues. Pour Vallin (2003, [24]), le découplage entre la production à flux tirés et celle à flux poussés est réalisé par un «stock stratégique». Le courant de la chaîne logistique s'intéresse également à ce concept pour ses potentialités d'amélioration de la productivité (Hoover *et al.*, 2001, [15]) ou de la flexibilité des systèmes productifs (Roos, 2000, [21]).

Le concept de PPC mobilisé ici reprend l'idée de l'influence, sur l'organisation de la production d'un fournisseur, de l'intervalle du temps séparant l'arrivée d'une commande ferme, du moment où la livraison est requise chez le client. Mais pour séparer sans trop d'ambiguïté les activités réalisées avant l'obtention de la commande ferme, de celles déclenchées consécutivement à cette prise de commande, il faut prendre en compte explicitement les gammes et nomenclatures et mobiliser la notion de frontière introduite au § 1-1.1, partageant potentiellement ce qui relève, en amont, d'une production pour stock, de ce qui peut être géré à la commande en aval, mais ne l'est pas nécessairement (on reviendra sur ce point).

En mobilisant le concept d'anticipation de la demande, Tarondeau (1982, [23]) différenciait les systèmes de production par la localisation de stocks de produits ou de biens intermédiaires correspon-

quant à des niveaux d'anticipation différents et impliquant des arbitrages différents entre coûts et risques, dépendant à la fois de la répétitivité de la demande à satisfaire et de l'éloignement du stock par rapport à la dernière étape du processus productif. L'analyse proposée ici apporte des éléments de réflexion additionnels en précisant sous quelles conditions ces stocks peuvent efficacement être introduits et en mettant en évidence d'autres marges de manœuvre.

La figure 2 synthétise la démarche d'analyse combinant les informations relatives au délai de réponse commercialement admissible dont dispose le fournisseur et aux nomenclatures et gammes concernées, via un graphique Gantt. Ce graphique, correspondant à l'ordonnancement de l'exécution de la commande du client, est établi au plus tard et ne tient compte que des durées et des contraintes d'antériorité (il est donc similaire à celui habituellement utilisé en ordonnancement de projet). Conformément à la définition retenue pour les processus, chaque activité de ce graphique Gantt correspond au processus de production d'une référence. Les contraintes d'antériorité entre activités sont repérées par les traits verticaux. L'établissement de ce graphique dépend de l'organisation de la production (ligne ou atelier), comme on l'expliquera au § 2-1. Les opérations débutant postérieurement à la date du PPC sont grisées et peuvent être pilotées par les informations de la commande ferme reçue; celles qui débutent avant reposent nécessairement sur des informations prévisionnelles ou de précision moindre (cf. § 1-1.2).

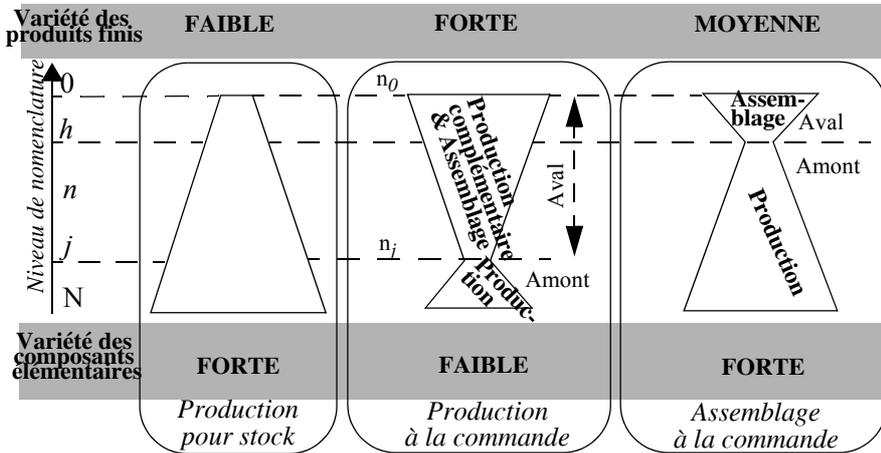


1-3.2 Le point de pénétration de commande et les différents modes d'organisation de la production

On peut avoir intérêt à produire pour stock en cas de production de masse de produits faiblement diversifiés et consommés avec une certaine régularité (cf. § 1-1.1). Dans ce cas, les informations du PPC sont sans réelle valeur pour le fournisseur; l'approvisionnement de bougies dans une usine d'assemblage automobile est un bon exemple de ce cas de figure. Pour comprendre la portée du PPC pour le fournisseur, il faut partir de la relation existant dans sa nomenclature entre la variété de ses

produits finis et celle de ses composants. Trois modes d'organisation de la production, illustrée à la figure 3, peuvent être rencontrés (Giard, 2003, [11]).

FIGURE 3
Nomenclature de production et organisation de la production en fonction du marché



- Le premier mode de production correspond à l'exemple qui vient d'être présenté (bougies).
- Dans le deuxième cas de figure — production à la commande — les entreprises produisent des composants de faible diversité rentrant dans la majorité des produits finis et procèdent ensuite (au-dessus du goulet d'étranglement de la nomenclature, niveau j de la nomenclature) à une production diversifiée de composants intermédiaires n'utilisant pas toujours des composants de rang supérieur à j dans la nomenclature et mobilisant éventuellement des gammes de production spécifiques avant d'arriver à l'assemblage final (niveau 0 de la nomenclature) aboutissant la variété demandée des produits finis.
- Dans le troisième cas de figure — assemblage à la commande — les entreprises fabriquent une large gamme de produits finis standardisés dont la variété repose sur la combinaison de modules et l'usage de composants optionnels permettant de personnaliser chaque produit en fonction de la demande. Cette variété se crée par des opérations d'assemblage à la commande produisant des références situées au-dessus du goulet d'étranglement (niveau de nomenclature h du schéma).

D'une manière générale, pour les deux derniers modes d'organisation de la production, on produit les composants créant la diversité entre le goulet d'étranglement et le niveau 0. Un déplacement vers le bas du PPC autorise le remplacement d'une production pour stock de certaines références par une production à la commande. Ceci permet de réaliser des économies par suppression des stocks de sécurité constitués pour contrer les erreurs de prévision. Si le PPC descend en dessous du goulet d'étranglement, les bénéfices escomptés pour les références situées entre ce goulet d'étranglement et le PPC seront faibles, les prévisions étant généralement assez fiables à ce niveau. Une bonne mise en œuvre de la différenciation retardée antérieurement au déplacement du PPC se traduit par un goulet d'étranglement proche du niveau 0; le déplacement du PPC peut alors s'avérer sans grand intérêt s'il se déplace en dessous du goulet d'étranglement. La valeur ajoutée que peut tirer le fournisseur d'une information transmise plus tôt dans ses processus de production dépend donc de son mode d'organisation de la production et du positionnement initial de son PPC par rapport au goulet d'étranglement.

2 Les implications du positionnement du point de pénétration de commande et de son déplacement

Dans cette seconde partie, on suppose que le type de production justifie l'usage d'une production à la commande en aval du PPC, dans une approche d'approvisionnement synchrone ou de production

synchrone. L'organisation du processus de cette production influe sur le périmètre d'activités sur lesquelles on peut agir (§ 2-1). Le déplacement de ce PPC sera l'occasion de montrer la variation de degrés de liberté dont les fournisseurs disposent (§ 2-2); il implique également une transformation des risques et de leur gestion (§ 2-3).

2-1 Organisation du processus de production du fournisseur et point de pénétration de commande

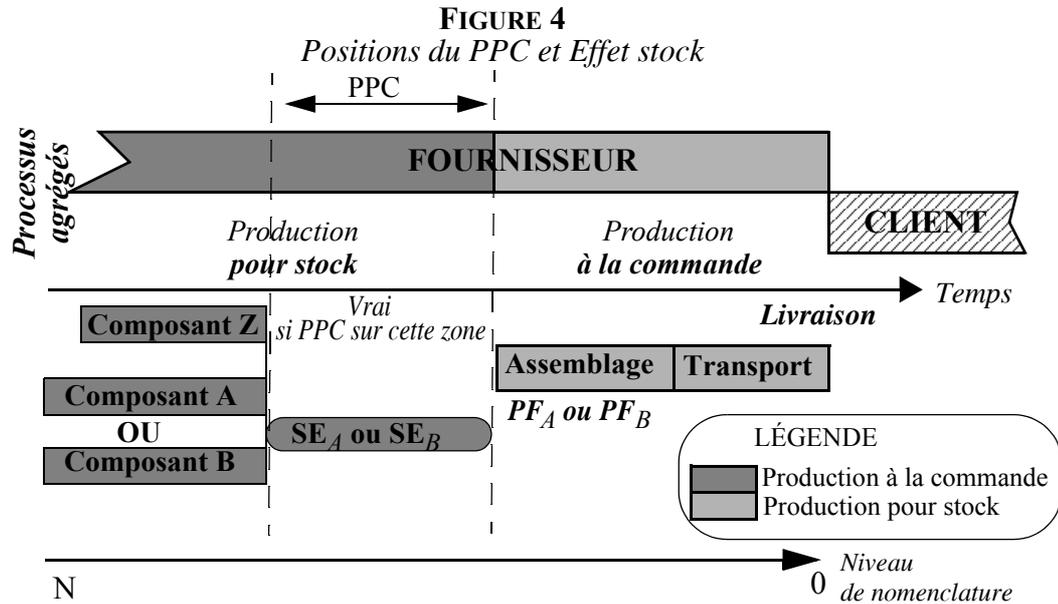
Pour un fournisseur, l'impact de la connaissance qu'il a du PPC n'est pas le même selon le processus de production qu'il mobilise. On commencera par analyser le cas le plus simple, celui d'une organisation en ligne de production (§ 2-1.1), avant d'aborder celui d'une organisation en *flow shop* ou en *job shop* (§ 2-1.2).

2-1.1 Processus du fournisseur organisé en ligne

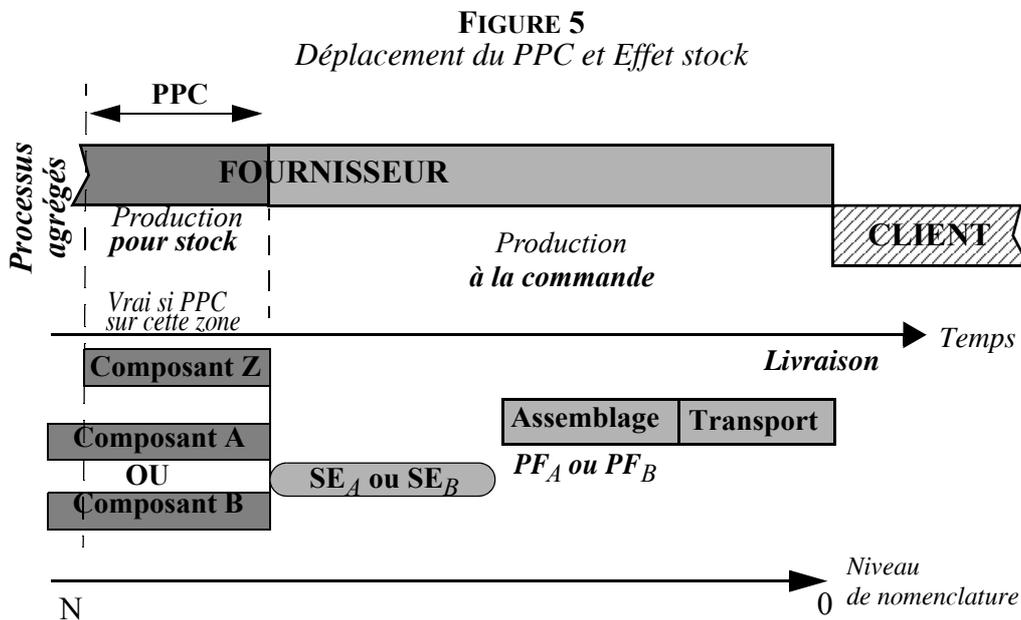
Une ligne de production se caractérise par un ensemble d'équipements agencés pour permettre à un flux de transiter systématiquement par la même séquence de postes de travail, en utilisant des moyens automatisés de transfert d'un poste au suivant. La régularité du débit de la ligne fait que les opérations se succèdent pratiquement sans temps mort. L'établissement du Gantt-tâches de la figure 2 repose sur des temps opératoires certains et une disponibilité immédiate des processus dédiés aux différents composants ou sous-ensembles. Ces hypothèses sont respectées lorsque chaque activité permettant la production d'une référence est exécutée sur une ligne dédiée. Ce cas se rencontre chez certains fournisseurs de rang 1 de l'industrie automobile, la ligne étant une ligne d'assemblage alimentée par des ateliers fournissant des composants produits pour stock, assurant la diversité requise (couleur, par exemple). L'analyse du déplacement du PPC sur un arbre de processus organisés en ligne permet de mettre facilement en évidence quelques propriétés. Celle d'organisations productives¹⁰ en *flow shop* ou en ateliers spécialisés (*job shop*), plus compliqué en raison de l'absence de garantie d'une disponibilité immédiate des ressources nécessaires à la fabrication des composants requis, sera conduite ultérieurement. Examinons l'impact potentiel du déplacement du PPC sur le niveau des stocks de composants et sous-ensembles.

La figure 4 précise des éléments introduits à la figure 2. Elle décrit par un Gantt l'enchaînement des processus de production. L'opération de transport porte généralement sur un lot de produits finis. Chaque activité est donc décrite par un trait dont la longueur est proportionnelle au temps nécessaire pour la fabrication des composants requis par ce lot, en tenant compte du fait que la nomenclature peut impliquer que le produit fini utilise plusieurs unités du même composant. Dans cet exemple, le PPC se situant quelque part dans la zone définie sur graphique, le fournisseur procède à la production pour stock du composant Z et des composants A ou B, optionnels mais non facultatifs, l'un de ces deux composants étant nécessairement retenu. La deuxième étape de son processus de production consiste à fabriquer des sous-ensembles SE_A (utilisant le composant A) ou SE_B (utilisant le composant B). En amont de la frontière du PPC et pour les activités de production que ces frontières traversent, le fournisseur doit produire pour stock, avec une prise en compte de l'incertitude par des stocks de sécurité (et donc portant ici, notamment, sur les sous-ensembles SE_A ou SE_B). En aval de la frontière du PPC, le fournisseur peut procéder à une opération d'assemblage à la commande, suivie d'une opération de livraison vers l'usine cliente, sans constitution de stock de sécurité.

10. L'organisation de la production en *flow shop* se distingue de celle de la ligne par trois caractéristiques (Giard, 2003, [11]): l'ordre de passage dans les différents centres de production est le même pour toutes les commandes, avec une possibilité de temps nul pour certains centres; les temps opératoires des opérations exécutées sur un même poste de travail connaissent une dispersion importante; l'existence possible de files d'attente, de longueur variable dans le temps, en amont des différents postes de travail. L'organisation de la production en *job shop* se distingue de la précédente par le fait que la première caractéristique (ordre de passage commun aux références à produire) disparaît.



Le déplacement du PPC vers les processus-amont du fournisseur lui procure de nouvelles marges de manœuvre (cf. figure 5) : l'incertitude sur le volume et la structure des sous-ensembles SE_A ou SE_B disparaît, ce qui permet au fournisseur de supprimer les stocks de sécurité de ces références et de diminuer mécaniquement les coûts d'immobilisation. Ce raisonnement se généralise sans difficulté pour plusieurs références dont les activités de productions franchissent la frontière du PPC.

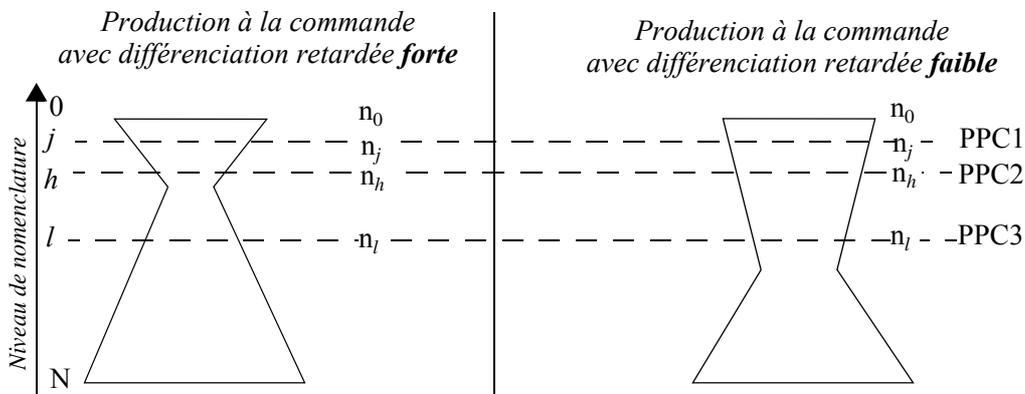


À partir de la relation existant entre la valeur ajoutée du positionnement d'un PPC et le mode d'organisation de la production du fournisseur (cf. § 1-3.2), on peut mettre en évidence que les gains potentiels pour le fournisseur varient en fonction du niveau de différenciation retardée retenu. Notons n_k^i le nombre de références du niveau de nomenclature k de la structure de nomenclature i et comparons le scénario d'une différenciation retardée forte où le goulet est assez proche du niveau 0 ($i = 1$) avec celui d'une différenciation retardée faible ($i = 2$). Si le PPC se déplace du niveau j , situé au-dessus du goulet d'étranglement dans les deux scénarios, au niveau $h = j - 1$, l'ensemble des références produites à la commande peut être augmenté des références du niveau h , antérieurement produites pour stock. Avec des situations comparables en matière de diversité de la demande finale

($n_0^1 = n_0^2$) et si le nombre de références des goulets d'étranglement est voisin, on a $n_h^1 < n_h^2$ (figure 6), ce qui signifie que le nombre de références concernées est moins important dans le cadre de la différenciation retardée forte que dans celui d'une différenciation retardée faible. En cas de différenciation retardée forte, les stocks de sécurité sont a priori plus importants et les coûts unitaires des composants stockés, plus élevés, ce qui peut contrebalancer l'avantage apparent donné au scénario de différenciation retardée faible. L'intérêt du déplacement du PPC jusqu'au niveau l , en dessous du goulet d'étranglement pour le seul cas de la différenciation retardée forte, est peu important pour les références situées en dessous du goulet d'étranglement pour le scénario d'une différenciation retardée forte.

FIGURE 6

Production à la commande avec ou sans différenciation retardée et identification de marges de manœuvre pour le fournisseur



En définitive, un déplacement important du PPC a de fortes chances de s'avérer d'avantage bénéfique lorsque la différenciation retardée est faible. Cela étant, il peut inciter à modifier la conception des produits et des gammes parce que le coût de la différenciation retardée peut être plus élevé que celui d'une différenciation plus précoce, intervenant toutefois après le PPC, lorsque l'on peut tout produire directement à la commande.

2-1.2 Processus du fournisseur organisé en *flow shop* ou en *job shop*

Si les processus de production du fournisseur utilisés en aval du PPC ne sont pas organisés en ligne de production ou d'assemblage, deux phénomènes viennent compliquer l'analyse.

- L'existence de temps et coûts de lancement incite généralement à travailler par lots, au terme d'un arbitrage entre des coûts de lancement et de possession, tenant compte des contraintes du transport final (taille des lots transportés et délai de mise à disposition pour les références de niveau supérieur à 0). La durée d'une activité sur le Gantt de la figure 2 intègre alors un temps de lancement et le temps total de fabrication du lot.
- L'organisation en ateliers implique la résolution périodique d'un problème d'ordonnancement. Ce problème est plus facile à résoudre dans le cas d'une structure en *flow shop* que dans le cas d'une structure en *job shop*. Dans un cas comme dans l'autre, s'ajoute au temps décrit au paragraphe précédent un temps d'attente qui dépend du portefeuille d'ordres de fabrication en cours, des principes d'ordonnancement retenus et de la configuration productive. Au moment où la commande ferme arrive, il est *a priori* possible de déterminer ce temps d'attente mais, d'une commande à l'autre, ce temps d'attente varie. S'il est possible d'obtenir une estimation crédible de la distribution de ces temps d'attente, l'examen de l'impact du PPC passe par l'analyse d'un problème stochastique d'ordonnancement de la série unitaire pour lequel des démarches simulatoires de type Monte Carlo (Giard, 2003, [11]) permettent de déterminer la probabilité qu'une activité a d'être

d'un côté ou de l'autre du PPC. Ce déplacement du PPC peut conduire le fournisseur à adopter de nouvelles règles de lotissement exploitant les nouveaux degrés de liberté, pour baisser les coûts.

2-2 Conséquences pour le fournisseur du déplacement du point de pénétration de commande

Le gel de ce qui peut être produit à l'avance va permettre d'introduire de nouvelles marges de manœuvre au sein des décisions de gestion des niveaux stratégiques, tactiques et opérationnels, pour reprendre la typologie introduite par Anthony (1965, [4]):

- Parmi les *décisions stratégiques*, les fournisseurs ont la possibilité d'envisager une solution alternative aux SAF et MAF par une délocalisation physique de l'outil productif. Il s'agit dans ce cas d'envisager, par exemple, la délocalisation de la production de composants de pièces dans des pays économiquement plus attractifs. Il peut s'agir également de ne délocaliser que certaines opérations tout en conservant pour les magasins de proximité ou sites avancés certaines nouvelles fonctionnalités (zones de ré-encyclage en fonction des aléas rencontrés...). La formulation de la politique de localisation de l'outil productif des fournisseurs se traduit par une transformation des gammes et nomenclatures exploitant les nouvelles marges de manœuvre pour améliorer l'efficacité des processus.

La localisation physique de l'outil productif des fournisseurs, ses caractéristiques (capacité, références, gammes...) peut prendre en compte, dans le cadre d'une production synchrone, la possibilité de déterminer une localisation pertinente en recherchant le barycentre des différents points de livraisons pour plusieurs clients. On est sur des logiques de maillage permettant d'envisager des parcs fournisseurs communs multi-clients permettant de larges économies d'échelle.

- Les *décisions tactiques* s'inscrivent dans un cadre contraint par les décisions stratégiques et peuvent être modifiées sur certains aspects:
 - La planification de la production peut être adaptée pour tenir compte du déplacement de la frontière production pour stock / production à la commande.
 - La définition et préparation du *plan Transport* en univers certain se trouvent également modifiées par le déplacement du PPC avec une localisation et des règles locales qui ne sont plus les mêmes. On a vu précédemment que le déplacement du PPC se caractérise par une certaine marge de manœuvre dans la localisation des opérations de production, ce qui a une incidence non seulement sur la fréquence des livraisons (réduction possible du nombre de livraisons) mais également sur le volume à acheminer (meilleure optimisation des taux de remplissage) et sur la capacité optimale de moyens de transport (sachant que dans l'industrie automobile de gros efforts ont déjà été réalisés).

Le plan transport et les règles d'approvisionnement sont des éléments conditionnant les coûts, les délais et la fiabilité de l'approvisionnement. Le transport de masse ne répond pas au mieux aux nouvelles attentes de la production synchrone: de nouvelles formes organisationnelles assurant flexibilité et réactivité doivent être imaginées. C'est dans cette perspective que certains constructeurs automobiles organisent des tournées multi-fournisseurs à fréquence multi-quotidiennes; cette décision tactique vise, en fonction de nouvelles caractéristiques globales de flux, à déterminer une gamme optimale de transport où chaque acheminement sélectionne les points d'enlèvement (en fonction de leur situation géographique, contraintes de production...), définit l'ordre de passage et les tailles de lots et tient compte des aléas transport. Ce schéma très utilisé chez les constructeurs Japonais (plus connu sous le terme de *Heijunka* qui signifie «petite quantité, grande fréquence») permet de s'inscrire dans une logique de localisation des stocks de sécurité dans les véhicules (circulants ou en attente de déchargement sur le parking client) et assure également une meilleure gestion du risque transport (lots répartis dans plusieurs véhicules).

- *Les décisions opérationnelles.* Elles concernent tout d'abord le pilotage des flux. Il s'agit d'exploiter au mieux les informations transmises plus tôt par le client pour produire à la commande. Comme pour l'approvisionnement synchrone, la demande du client est relativement stable en volume et fortement variable en structure sur le court terme. L'approvisionnement synchrone ne disposant que de quelques heures, il est difficile d'aller au-delà d'opérations d'encyclage ou d'une opération d'assemblage associée à une différenciation retardée; en amont, la production s'effectue nécessairement pour stock. Le déplacement du PPC permet au fournisseur de produire à la commande mais les méthodes d'ordonnancement de la production actuellement disponibles sont peu adaptées à un environnement impliquant la prise en compte d'un horizon glissant de quelques dizaines d'heures, la définition pertinente d'une périodicité de prise de décision, la prise en compte de contraintes de lotissement et l'existence de rebuts... Des travaux que nous avons récemment menés chez Renault, en partenariat avec un équipementier, ont mis en évidence la supériorité de nouvelles règles de pilotage de la production de ce dernier, assurant la synchronisation de la production et conduisant à une diminution importante des stocks sans occasionner de rupture de stock; ils montrent également qu'une information transmise trop tôt au fournisseur est sans grand intérêt si ses processus ne garantissent pas une production toujours bonne du premier coup. Cela étant, il est illusoire de penser que les informations transmises au fournisseur, en particulier celles relatives au séquençement, sont toujours d'une fiabilité absolue. Les décisions permettant de faire face aux aléas (mode correctif) doivent être préparées (cf. § 2-3.2).

L'amélioration des processus repose sur leur modélisation. Leur simulation permet de mieux cerner les gains d'efficience que l'on peut espérer. Ces gains seront atténués par l'impact de perturbations que des mécanismes correcteurs pourront contrer et dont la pertinence et l'efficacité devront être préalablement vérifiées par simulation.

2-3 Modification des risques induite par le déplacement vers l'amont du point de pénétration de commande

Le déplacement de la frontière du PPC offre de nouvelles marges de manœuvre permettant d'accroître l'efficience des processus. En figeant plus tôt certaines décisions, on augmente le risque de divergence entre ce qui est prévu et ce qui se réaliserait en l'absence d'intervention. Ces gains potentiels d'efficience ont pour contrepartie une entropie accrue qu'il faut contrer par de nouveaux mécanismes correcteurs. L'identification préalable des sources de perturbation possibles des processus concernés par la production synchrone (§ 2.3.1) permet de repérer quelques mécanismes correcteurs possibles (§ 2.3.2).

2-3.1 Identification des perturbations possibles

Dans les systèmes productifs d'inévitables incidents font que tout ne se passe pas comme prévu chez le client comme chez le fournisseur, avec comme conséquence possible une désynchronisation des flux que l'on peut espérer éviter par des mesures correctives. Cette désynchronisation se traduit par des rendez-vous manqués entre des références approvisionnées et des produits en cours d'assemblage chez le client. L'analyse qui suit est fortement marquée par l'exemple de l'industrie automobile.

L'indisponibilité momentanée de certaines ressources (machines en panne, approvisionnements en retard, renforts indisponibles pour traiter des surcharges de travail ponctuelles sur certains postes d'une ligne...) peut conduire à un arrêt momentané de travail sur un poste, se propageant progressivement sur les postes suivants. Ce désamorçage de la ligne peut être retardé par l'existence de stocks-tampers et le retard pris peut être rattrapé ultérieurement par un allongement de la durée de travail et une augmentation de la vitesse de la ligne. Sur certains postes et pendant un certain temps, des produits arriveront en retard et les approvisionnements requis, arrivés comme prévu, s'accumuleront chez le client en bord de ligne ou dans des aires de stockage dédiées.

Le traitement en ligne de la qualité peut conduire à retirer momentanément un produit de la ligne, pour le réintroduire quelque temps plus tard, après rectification des défauts constatés. L'absence d'un composant peut éventuellement induire une décision similaire, si le désamorçage est refusé en raison de son importance et à condition que cette dérivation soit physiquement possible. Dans un cas comme dans l'autre, le produit aura perdu quelques rangs dans la séquence initiale du lancement en production, tandis que ses successeurs en auront gagné un, sauf à connaître à leur tour un problème de qualité (ou de rupture d'approvisionnement) conduisant à leur retrait momentané de la ligne¹¹. Cette ***perturbation de l'ordre*** peut, sous certaines conditions, être corrigée par le passage ultérieur des produits dans un *stock de tri* utilisant des règles de sortie autres que celle du «premier entré - premier sorti»¹². Ce rattrapage n'est possible qu'à condition que la capacité du stock de tri soit au moins égale au nombre maximal de rangs perdus par un produit à la suite d'une rectification de défaut (ou une rupture d'approvisionnement). Cette condition n'est pas toujours facile à respecter, aussi certains produits rateront-ils le rendez-vous prévu sur certains postes recevant des composants spécifiques, en arrivant en avance, ce qui peut induire un désamorçage, ou en retard, ce qui provoque un stockage des composants en attente.

Ce changement d'ordre peut, à son tour, conduire à un désamorçage sur d'autres postes. En effet, l'ordonnancement initial tient compte de la variabilité du travail effectué sur certains postes de la ligne en fonction de la présence de composants optionnels à monter¹³. Sur ces postes, un véhicule doté d'une option impliquant une charge de travail supérieure au temps de cycle de la ligne, doit être suivi de plusieurs véhicules ayant une charge de travail inférieure au temps de cycle, pour permettre de rattraper le temps perdu. Sur quelques postes, cette contrainte d'espacement est intangible en raison d'une contrainte capacitaire d'équipement et la violation de la contrainte d'espacement conduit automatiquement à un désamorçage. Sur les autres postes, le désamorçage peut être évité en appelant en renfort du personnel et la synchronisation des flux n'est alors pas remise en cause.

La désynchronisation des flux peut être également imputable au fournisseur pour des raisons de production mais aussi en raison de problèmes d'acheminement.

- Il est normal de retrouver chez le fournisseur organisé en ligne de production les sources de perturbation évoquées chez le client. Certaines d'entre elles disparaissent si la diversité de la production n'implique pas, sur certains postes, de charge de travail variant en fonction des caractéristiques du produit traité. Si les processus concernés s'appuient sur des organisations en *flow shop* ou *job shop*, une attention plus grande doit être portée à l'ordonnancement et aux procédures de réactivité aux incidents. La synchronisation des flux implique le respect d'un encyclage précis à la livraison mais cet ordre ne s'impose pas dans le pilotage des processus en amont de la phase finale de la préparation de la commande; dans ce cas, les contraintes pesant sur ces processus sont moins strictes. Si la diversité des produits est forte, le processus qui gère cette différenciation peut être plus ou moins tardif, ce qui conduit à un intérêt plus ou moins fort du gel précoce de la demande du client, comme on l'a déjà évoqué. Une différenciation fortement retardée minimise l'impact d'aléas survenant sur la partie des processus produisant pour stock. Un retard de production chez un fournisseur aura des répercussions sur le transport qui constitue le dernier maillon de la chaîne.
- Le problème transport auquel se trouve confronté le fournisseur est celui de la gestion des lots transportés, un retard en production pouvant conduire à faire partir des lots incomplets et à organiser des transports additionnels. Le temps de transport peut être affecté par divers aléas qui

11. Voir Giard (2003, [11]), p. 603-609 et Boctor, Giard & Danjou (2003, [7]).

12. Pour définir ce réordonnancement, des algorithmes de nature différente sont utilisés dans l'industrie automobile française (pour Renault, voir Danjou, Giard & Le Roy, 2000, [10], et pour PSA voir Bernier, 2000, [5]).

13. Voir Giard (2003, [11]), p. 614-619 et Giard & Jeunet (2004, [12]).

conduisent à se prémunir de différentes façons (délai de sécurité...). Enfin, le fournisseur doit réagir à des retards de production pris par le client. Dans certains cas, il devra également être en mesure de modifier l'encyclage si le client l'exige. Ces modifications de dernière minute peuvent être difficiles à intégrer.

Ces perturbations chez le client et le fournisseur doivent progressivement baisser par l'appel aux démarches d'amélioration continue. Elles ne peuvent cependant disparaître; des mécanismes correcteurs sont indispensables pour s'assurer que les rendez-vous pris sont respectés.

2-3.2 Mécanismes correcteurs possibles

Les mécanismes mis en jeu relèvent des décisions opérationnelles qui vont assurer la flexibilité quotidienne nécessaire pour faire face aux aléas. Plusieurs pistes de solutions sont envisageables chez le client et le fournisseur.

On a vu que chez le client les perturbations concernent la baisse de vitesse du flux et l'ordre des produits. Sur le premier point, le retard pris peut être rattrapé ultérieurement par un allongement de la durée de travail et une augmentation de la vitesse de la ligne. Le retard pris par le flux du client par rapport à ceux des fournisseurs peut conduire à des stocks ingérables chez le client, ce qui le poussera à demander à ses fournisseurs de ralentir leurs flux pour restaurer la synchronisation des flux sur les postes d'assemblage. Le second type de perturbations est plus difficile à gérer. Plusieurs mécanismes sont, a priori, envisageables :

- Il convient d'abord d'attaquer le problème à sa racine en améliorant les processus de production mais aussi ceux d'élimination des défauts rencontrés. Il ne s'agit alors pas de mécanismes correcteurs mais de décisions tactiques, voire stratégiques. On a évoqué déjà la possibilité de restaurer un ordre perturbé par l'intermédiaire de stocks de tri; l'amélioration des algorithmes de sélection du produit à sortir de tels stocks peut limiter plus ou moins l'impact des perturbations d'ordre. On peut également décider de multiplier de tels stocks de tri, en en plaçant un après chaque processus pouvant conduire à de telles perturbations d'ordre. Ces décisions ne relèvent pas non plus du niveau opérationnel.
- L'élimination totale de ce type de perturbations étant peu vraisemblable, il faut alors imaginer d'autres solutions.
 - La prise en compte des décyclages peut se faire par des stocks de sécurité (ou stock de substitution) en bord de ligne qui dépend avant tout de l'importance des perturbations de l'ordonnement initial. En cas de retard pris par le client, les composants livrés peuvent y être momentanément entreposés. Cette solution est difficile à utiliser en cas de composants encombrants ou de forte diversité en raison des manipulations rendues nécessaires. On peut aussi envisager la mise en place de zones de ré-encyclage déportées par rapport à la ligne.
 - La technique du baptême progressif est également envisageable. Il s'agit d'une approche fondée sur le principe de la différenciation retardée dans laquelle on affecte au dernier moment au composant le numéro du produit sur lequel il sera monté. Ceci permet, par rapport à une affectation précoce, de permuter deux composants identiques devant être montés sur des produits différents dont l'ordre d'arrivée sur le poste de travail a été permuté à la suite d'aléas.

Pour le fournisseur, on retrouve des mécanismes similaires en ce qui concerne les aléas de production. Il doit en outre prévoir des stocks de sécurité dans son site productif pour être en mesure de respecter ses engagements. Il peut enfin mobiliser des ressources additionnelles (heures supplémentaires...) pour rattraper certaines perturbations. Les mécanismes de réactivité aux aléas de transport sont de trois ordres :

- On peut imaginer de mettre en place des stocks de sécurité en usine. Dans le cadre de production synchrone, il est habituel de prendre en compte la possibilité d'une livraison retardée en introdui-

sant dans les gammes transport un temps additionnel de sécurité en usine avant livraison bord de chaîne. Pour une consommation d'une référence donnée à l'instant t par un poste de la ligne, le véhicule doit arriver à $t - x$, x dépendant de la distance à parcourir et du type de flux (flux direct, tournée de collecte...). Ce stock de sécurité encyclé peut être physiquement déchargé dès réception en usine ou bien être positionné sur un parking de remorques prévu à cet effet.

- On peut aussi déclencher une livraison spéciale. Le système d'urgence utilisé dans l'industrie automobile est plus complexe car le fournisseur est amené à reproduire un certain nombre de références qui doivent être également encyclées. Selon son positionnement géographique, son mode de production, le temps de réaction sera plus ou moins grand.
- Le fournisseur peut enfin adapter les caractéristiques des lots transportés, en particulier en procédant à un fractionnement pour éviter tout désamorçage chez son client : afin de contrer les arrêts de chaîne en usine.

Cette liste non exhaustive de mécanismes correcteurs possibles permet de construire des scénarios qui peuvent être testés dans le modèle de simulation décrivant le fonctionnement de la partie de la chaîne logistique concernée par l'approvisionnement synchrone. Cette simulation permet d'évaluer la robustesse et la pertinence d'alternatives décisionnelles envisagées, à condition que la représentation simplifiée des processus soit pertinente et que les lois utilisées pour simuler les incidents soient réalistes.

3 Conclusion

La mise en œuvre de la production synchrone n'est pas sans rappeler celle du JAT. Le mot d'ordre du respect de la séquence d'une production diversifiée a les mêmes vertus que celui du «zéro stock». Pour le JAT, les défauts, les rebuts, les retouches, les pannes de machine provoquaient des perturbations dont la propagation est freinée par les stocks constitués entre processus. Diminuer volontairement ces stocks contraint à s'attaquer aux causes de ces dysfonctionnements (métaphore bien connue de la rivière¹⁴). Cette chasse aux dysfonctionnements conduisant au non-respect des rendez-vous entraîne une amélioration des processus sur lesquels l'entreprise fonde sa performance du long terme. Avec la production synchrone, le mot d'ordre du respect du séquençage repose implicitement sur la même démarche. Cela étant, pour la production synchrone, les principes de pilotage des flux restent encore largement à trouver et expérimenter, contrairement à ce qui se passe pour le JAT. Il s'agit là d'enjeux fort tant pour l'industrie que pour la recherche.

Cette exploration de nouvelles règles de pilotage doit aller de pair avec l'amélioration de la qualité de l'information circulant dans la chaîne logistique et de sa vitesse de circulation qui repose sur une meilleure coopération entre les différents acteurs. Cette tendance n'est pas sans rappeler celle observée depuis une dizaine d'années dans la partie aval de la chaîne logistique avec la mise en place de politiques collaboratives¹⁵ du type CPFR (*Collaborative Planning Forecasting and Replenishment*) mises en œuvre dans la grande distribution où distributeurs et industriels partagent élaborent en commun leurs prévisions¹⁶ et définissent conjointement les stratégies d'approvisionnement faisant

14. Selon l'image de Taiichi Ohno, père de la philosophie JAT chez Toyota, on peut comparer les stocks au niveau de l'eau dans une rivière. Dans l'approche traditionnelle, les responsables considèrent que plus le niveau de l'eau est élevé, plus la navigation est aisée car cela permet de s'affranchir des risques que représentent les récifs. Ohno propose au contraire de faire baisser le niveau d'eau pour laisser apparaître les récifs et les éliminer.

15. Cette démarche, encouragée par les pouvoirs publics nord-américains, est formalisée dans [8], 2004. Parmi les nombreux écrits disponibles sur ce thème on peut noter l'article de synthèse sur la collaboration dans la chaîne logistique écrit par Holweg et al. ([14], 2005) et celui de Schwarz ([22], 2004) décrivant l'état de l'art des pratiques dans les chaînes logistiques aux États-Unis.

16. Voir Cachon & Fisher, 2000, [9].

ou non appel aux approches de type VMI (*Vendor Managed Inventory*). Ce retard s'explique en grande partie par un niveau de complexité plus fort: il ne s'agit pas seulement de gérer des approvisionnements dans un réseau mais en plus de produire à la commande. Travailler dans ce sens est un enjeu important, susceptible de renforcer les défenses de notre tissu industriel.

4 Bibliographie

- [1] B. Agard, *Contribution à une méthodologie de conception de produits à forte diversité*, thèse de doctorat en génie industriel de l'INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble), 2002.
- [2] W. Alderson, «Marketing Efficiency and the Principle of Postponement», *Cost and Profit Outlook*, 3, septembre 1950.
- [3] [2] D. M. Anderson, J. Pine II, *Agile Product Development for Mass Customization: How to Develop and Deliver Products for Mass Customization, Niche Markets, JIT, Build-to-Order and Flexible Manufacturing*, McGraw-Hill, 1997.
- [4] R. N Anthony, *Planning and Control Systems: a framework for analysis*, Harvard University Press, 1965.
- [5] V. Bernier, *Sur une nouvelle politique de gestion de flux: le cadencement reséquençable*, thèse de doctorat en génie industriel de l'INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble), 2000.
- [6] R. & S. Biteau, *Maîtriser les flux industriels: les outils d'analyse*, Éditions d'organisation, Paris, 1998.
- [7] F. Boctor, F. Danjou & V. Giard, «Analyse théorique des décyclages sur lignes de production», *Journal Européen des Systèmes Automatisés (APII-JESA)*, vol. 35, n° 5, 2001.
- [8] CPFR: an overview, http://www.vics.org/committees/cpfr/CPFR_Overview_US-A4.pdf, Voluntary Interindustry Commerce Standards, 2004.
- [9] G. P Cachon, M. Fisher, «Supply chain inventory management and the value of shared information», *Management Science*, août, 2000, Vol. 46, n° 8.
- [10] F. Danjou, V. Giard & É. Le Roy, «Analyse de la robustesse des ordonnancements/réordonnancements sur ligne de production et d'assemblage dans l'industrie automobile», *Revue Française de Gestion Industrielle*, vol. 19, n° 1, 2000.
- [11] V. Giard, *Gestion de la production et des flux*, Economica, Paris, 2003.
- [12] V. Giard, J. Jeunet, «Modélisation du problème général d'ordonnement de véhicules sur une ligne de production et d'assemblage», *Annales du LAMSADE*, n° 2, p. 255-276, 2004, à paraître dans le *Journal Européen des Systèmes Automatisés (APII-JESA)*.
- [13] C. Ho, «An examination of Distribution Resource Planning problem: DRP system nervousness», *Journal of Business Logistics*, Vol 13, n° 2, p. 125-152, 1992.
- [14] M. Holweg, S. Disney, J. Holmström, J. Småros, «Supply Chain Collaboration: Making Sense of the Strategy Continuum», *European Management Journal*, avril 2005, Vol. 23, n° 2.
- [15] W. Hoover, E. Eloranta, Jan Holmström et K. Huttunen, *Managing the demand supply chain: Value Innovations for customer satisfaction*, Wiley Operations Management, New York, 2001.
- [16] R. Lambert, *Modélisation des choix de configurations logistiques: les leviers d'actions face à la réduction du délai d'approvisionnement constructeurs dans l'automobile*, Thèse de Doctorat, Université du Havre, 2002.
- [17] H. L. Lee, «Effective inventory and service management through product and process redesign», *Operations Research*, vol. 44, p. 151-159, 1996.
- [18] H.L. Lee et C.S. Tang, «Modelling the costs and benefits of delayed product differentiation», *Management Science*, vol. 43, n° 1, p. 40-53, 1997.

- [19] A. Martin, *Distribution resource planning*, Prentice-Hall, 1983 (adaptation française: *Distribution Resource Planning: le moteur de l'ECR*, Aslog, Jouenne & Co, 1996).
- [20] G. Paché et T. Sauvage, *La logistique: enjeux stratégiques*, Vuibert, 1999.
- [21] H. B. Roos, *The concept of the Customer Order Commercial Decoupling (CODP) in logistics management; a case study approach*, <http://www.few.eur.nl/few/people/roos>, Rotterdam, 2000.
- [22] L. B. Schwarz, «The state of practice in supply chain management: a research perspective», in *Applications of Supply Chain Management and E-Commerce Research*, sous la direction de J. Geunes, E. Akçali, P.M. Pardalos, H. E. Romeijn, Z.-J. Shen, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [23] JC Tarondeau, *Produits et technologies, Choix politiques de l'entreprise industrielle*, Dalloz, 1982.
- [24] P. Vallin, *La logistique – modèles et méthodes du pilotage des flux*, Economica, 2003.
- [25] RI Van Hoek, HR Commandeur et B Vos, «Reconfiguring logistics systems through postponement strategies», *Journal of Business Logistics*, vol.19, n° 1, 1998.
- [26] U.Wemmerlov et DC Whybark, «Lot sizing Under Uncertainty in a rolling Schedule Environment», *International journal of Production Research* 22, n° 3, p. 467-484, 1984.