



**HAL**  
open science

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

Vincent Giard, Gisèle Mendy

► **To cite this version:**

Vincent Giard, Gisèle Mendy. Le passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique. pp.20, 2004. hal-00017761

**HAL Id: hal-00017761**

**<https://hal.science/hal-00017761>**

Submitted on 25 Jan 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

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

Vincent Giard<sup>1</sup> & Gisele Mendy<sup>2</sup>

## 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. Figurer 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 clés :** 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 neighborhood 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 frozen 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.

---

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

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

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, facilitant une proximité géographique plus forte de certains de leurs processus proches de la sortie de produits finis. 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 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 prise ici en 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). Les idées développées ici ne relèvent pas d'un retour d'expérience mais de réflexions préalables à une intervention sur le terrain, creusant certaines implications du croisement de concepts bien connus et non mises en évidence à notre connaissance

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, page 267), on analysera les implications du concept de point de pénétration de commande et de son déplacement, conduisant à 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. Cette évolution a un impact sur l'usage des principes du JAT, ce que l'on illustrera au travers d'un exemple industriel automobile avec la mise en place de flux synchrones (§ 1-2, page 261). La mobilisation du concept de pénétration de commande (PPC), facilite l'analyse de l'interdépendance entre les processus d'une entreprise et ceux de ses fournisseurs (§ 1-3, page 264).

### **1-1 La synchronisation des processus**

La chaîne logistique a pour principal intérêt de forcer à une vision processus qui conduit à l'analyse et la résolution de problèmes interdépendants, le plus souvent traités de manière indépendante. On est sur une logique d'intégration et de coordination des activités qui rend plus complexe le pilotage des flux. L'analyse critique des processus s'impose et implique 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 approche «client-fournisseur». Le processus de production est défini, dans ce cas, avec une granularité telle sa production soit une référence de produit fini ou de composant. Cette relation explicite avec la nomenclature permet de poser le problème de 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 doit tenir compte d'une possible évolution dans le niveau de précision de la demande exprimée (§ 1-1.2, page 260), avant de discuter du concept de synchronisation (§ 1-1.3, page 261).

### 1-1.1 Productions à flux tirés et flux poussés

La distinction entre production pour stock et production à la commande est ancienne. Le rappel de leurs caractéristiques permet de mieux comprendre la distinction entre production à flux poussés et production à flux tirés, à la base du JAT.

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 potentielle, 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 la production du produit fini intégrant cette référence<sup>1</sup>. 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. Cela étant, la connaissance de la commande n'implique pas nécessairement de produire à la commande, en particulier en 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<sup>2</sup> lorsque, dans le graphe représentant la nomenclature de toutes les références utilisées dans la production du produit fini, la frontière séparant les références produites pour stock de celles produites à la commande est proche de la référence de niveau 0 (produit fini). D'autres raisons peuvent pousser à accroître la part de production sur stock en déplaçant la frontière vers la référence de niveau 0 : volonté d'améliorer la réactivité commerciale ou impossibilité d'absorber de fortes variations saisonnières avec les capacités productives installées conduisant à produire pour stock une partie de la demande. Dans ce contexte, en amont de la frontière, la production s'effectue normalement sur la base d'anticipations (flux poussés) et, en aval de la frontière, elle est déclenchée par la demande effective du client du processus concerné (flux tirés). Dans le premier cas, l'ordre de fabrication (OF) est créé par un service de planning sur la base d'un ensemble cohérents de prévisions. Dans le second cas, ce service peut également créer l'OF sur la base de demandes exprimées ; dans le JAT, les kanbans jouent le rôle d'ordres de fabrication ouverts.

1. 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, page 264 et à la figure 2 de la page 266.

2. Ce terme d'assemblage à la commande est parfois associé à la production de produits finis fortement diversifiés partant d'un nombre limité d'ensembles faiblement diversifiés de composants ou sous-ensembles plus ou moins interchangeable au montage, conçus dans une approche modulaire (Giard, 2003, [6]).

Pour utiliser le JAT, il faut que les processus productifs de la chaîne logistique allant de ceux qui fabriquent les références normalement produites pour stock, à celui de l'assemblage final, disposent tous de capacités s'adaptant immédiatement aux variations du taux de la demande de la référence concernée. Si tel n'est pas le cas, des désamorçages se produisent nécessairement en l'absence de stock de sécurité dont l'existence est jugée néfaste dans le cadre du JAT. Ceci explique que le JAT ne soit possible que sous la condition stricte d'une variabilité de la demande compatible avec la flexibilité de la capacité mobilisable par les différents processus sollicités.

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,[11]). 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 s'appuie sur des prévisions et marche à flux poussés. Les raisons de cette tendance seront expliquées.

### **1-1.2 Vers une plus grande précision de la demande**

En matière d'approvisionnement externe, 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 :

- 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). Dans ce cas, la dernière incertitude à lever est relative à l'ordre (O). En règle générale, on passe d'une connaissance très grossière sur ces trois composantes (VSO), à état où l'on détermine le volume (VSO), puis la structure (VSO) et, enfin, l'ordre (VSO). Dans certains cas, il faut ajouter la date de livraison comme quatrième niveau d'incertitude; dans les industries de production de masse de produits fortement diversifiés, l'organisation en ligne conduit à une régularité d'approvisionnement qui fait que ces dates ne sont connues que tardivement.

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 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 lié à celui de coordination en temps réel du fonctionnement de plusieurs systèmes pour atteindre un objectif de performance de l'ensemble dans de bonnes conditions. La synchronisation ne garantit ni l'efficacité ni l'efficience. Ce sont les procédures mobilisées et le cadre organisationnels qui le permettent. La synchronisation implique seulement que les procédures des systèmes concernés exploitent, en temps réel, certaines informations relatives au pilotage opérationnel de tout ou partie de ces systèmes.

La production à flux tendus répond bien à ce principe si l'on accepte l'idée selon laquelle la 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. Selon le niveau de latence accepté, le périmètre d'application du concept de synchronisation est plus ou moins large. Il semble judicieux d'accepter cette latence dans l'application du concept de synchronisation aux processus productifs, dans la mesure où elle se concrétise par une demande de mise à disposition, à certaines échéances, de quantités de certaines références sans rien stipuler sur la manière d'y parvenir.

La production à flux poussés cherche à assurer la cohérence temporelle des décisions de production prises au niveau des différents processus productifs, sur la base de demandes prévisionnelles. On y retrouve une volonté de synchronisation sans que l'on puisse qualifier facilement ce pilotage des flux, de mécanisme de synchronisation. En effet, la qualité imparfaite des prévisions oblige à mobiliser des mécanismes additionnels d'ajustement pour rendre cohérentes les décisions prises dans les différents systèmes concernés. La remise en cause fréquente et importante de décisions locales initialement prises sur la base d'informations émanant d'autres systèmes rend les mécanismes de rétroaction plus importants que les mécanismes décisionnels initiaux. Il semble préférable de considérer que ces mécanismes correcteurs ne font partie des mécanismes de synchronisation qu'à condition que leur rôle soit mineur afin de conserver aux mécanismes de synchronisation un caractère de décisions prises sur des bases relativement fiables et de ne pas occulter les causes de modifications possibles. Les mécanismes correcteurs visés ici ne concernent pas les décisions exploitant l'amélioration progressive des informations transmises au fournisseur lorsque l'on se rapproche de la livraison, évoquée au § 1-1.2.

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 d'organisation en flux synchrones, sachant que leurs implications seront développées ultérieurement.

## 1-2 Approvisionnements et flux synchrones

L'allongement du délai laissé au fournisseur transforme les contraintes qu'il subit et donc les réponses qu'il peut mobiliser. Pour l'appréhender, on examinera les caractéristiques de l'approvisionnement synchrone (§ 1-2.1) et celles de la production synchrone (§ 1-2.2, page 263).

### 1-2.1 L'approvisionnement synchrone

Dans le JAT, les kanbans sont des ordres de fabrication ouverts et interchangeable, la distinction entre kanbans de fabrication et de distribution ne modifiant pas substantielle-

ment ce principe. Le nombre de kanbans est défini par le taux de demande, la taille du lot et le temps mis par un kanban à parcourir le cycle complet le ramenant à son point de départ. Le centre de fabrication de la référence peut être externe, auquel cas on est dans une logique d'approvisionnement. A priori, la synchronisation n'implique rien quant à la longueur du cycle qui peut être ou non très court. Ce n'est donc pas là que se situe la différence.

Dans la pratique, on parle d'approvisionnement synchrone essentiellement dans le contexte de lignes d'assemblage lorsqu'un poste de la ligne est amené à utiliser des composants optionnels et/ou des composants interchangeables (exemple, un moteur choisi parmi trois types possibles): la variété est obtenue par une combinaison de composants choisis dans des ensembles disjoints de composants interchangeables et par la présence ou l'absence de composants optionnels<sup>1</sup>. Dans le premier cas, le fait de ne pas monter systématiquement un composant optionnel sur tous les produits finis conduit à une consommation irrégulière. La gestion par kanban de cette référence oblige à détenir un stock en bord de ligne dont la taille théorique peut correspondre au cumul des lots de tous les kanbans, avec les inconvénients qui en découlent immédiatement lorsque le composant optionnel est encombrant ou onéreux. Le second cas se rencontre essentiellement dans le cadre d'une personnalisation du produit fini dans le cadre d'une approche modulaire. La demande d'un composant donné est également irrégulière et l'on rencontre la même nécessité de créer des stocks en bord de ligne, avec la complication supplémentaire induite par la variété.

Pour limiter ces problèmes, la parade consiste à demander de livrer au début de chaque plage horaire la quantité exacte devant être consommée avant la prochaine livraison; on parle alors d'approvisionnement synchrone. Par rapport à la démarche classique du JAT où l'enlèvement des quantités stockées dans le centre de production se fait au fil de l'eau, on utilise des kanbans de distribution non banalisés, chacun stipulant de livrer une quantité précise à une heure donnée d'un jour donné. Dans le cas de composants interchangeables provenant d'un centre de production, le souci de ne pas multiplier les stocks en bordure de ligne et de limiter le risque d'erreur de sélection de la référence à monter, conduit à demander au fournisseur de configurer sa livraison en panachant les références demandées dans l'ordre correspondant exactement à la consommation sur ligne d'assemblage (encyclage).

Dans les organisations en ligne, le kanban est émis bien en amont du centre de consommation, compte tenu de la brièveté du temps de cycle de la ligne par rapport au temps nécessaire de préparation, d'acheminement et de mise à disposition. Il dépasse rarement quelques heures, ce qui a conduit à la mise en place d'organisations spécifiques, en particulier dans l'industrie automobile. Le fournisseur est contraint à se rapprocher physiquement du client en raison de la brièveté du temps de réponse imposé. Cette problématique du choix de configurations pour des fournisseurs dans l'industrie automobile a été abordée par Lambert (2002, [5]) dans une optique intégrant la logistique et la production, mettant en évidence les degrés de liberté dont on dispose dans la localisation de certaines opérations de production. La figure 1 s'inscrit dans la continuité de cette réflexion, en schématisant les deux solutions, non exclusives, utilisées:

- Les circuits de distribution physiques peuvent être adaptés par la création de Magasins Avancés Fournisseurs (MAF) localisés à proximité du client. Cette délocalisation des

---

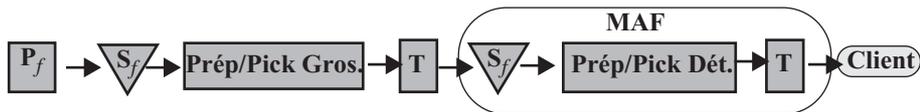
1. On est alors en présence de l'une des formes possibles de différenciation retardée, permettant de concilier une certaine rigidité du système productif et sa capacité à répondre à une demande difficilement prévisible et fortement diversifiée, à condition que la structure de nomenclature soit du type «assemblage à la commande» (voir figure 3 de la page 266).

**FIGURE 1**  
Configurations logistiques possibles sur des délais courts d'approvisionnement

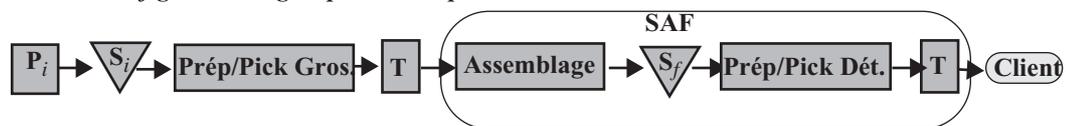
**CAS 1: Configuration logistique classique**



**CAS 2: Configuration logistique avec implantation de MAF**



**CAS 3: Configuration logistique avec implantation de SAF**



$P_f$ : Production de produits finis

$P_i$ : Production de produits finis

T: Transport

$S_f$ : Stockage de produits finis

$S_i$ : Stockage de produits intermédiaires

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

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

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'éventuel 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 retardée, 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. Dans certaines industries, plusieurs fournisseurs d'un même site de client (ou de plusieurs clients proches) peuvent être installés dans une même zone industrielle que l'on qualifie souvent de parcs fournisseurs.

La stratégie de banalisation des sites de production retenue par les industriels depuis quelques années pour améliorer leur flexibilité et réactivité 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 passage de l'approvisionnement synchrone à la production synchrone constitue alors une alternative permettant de concilier, sous certaines conditions, baisse des coûts et efficacité de réponse à la forte variabilité de la demande.

### 1-2.2 La production synchrone

La volonté de satisfaire rapidement les clients dans un contexte fortement concurrentiel a conduit certaines industries, comme 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.

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. On verra en temps utile que cette transformation s'accompagne d'une modification des risques.

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.

### **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 pour les processus amont appartenant à d'autres entités juridiques dont les objectifs, structures et procédures n'ont guère de raisons d'être compatibles avec ceux de leur client. 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 les principes du PPC (§ 1-3.1), on cherchera à mettre en évidence l'impact du PPC, en fonction du mode d'organisation de la production chez le fournisseur (§ 1-3.2, page 265).

#### **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 oeuvre de ce principe sur la chaîne de valeur dépend, en 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.

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 des sous-processus ne pouvant fonctionner à la même vitesse nécessitait l'introduction d'un point

de découplage. Biteau *et al.* (1998, [5]) 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, [14]), le découplage entre la production à flux tirés et celle à flux poussés est réalisée 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, [7]) ou de la flexibilité des systèmes productifs (Roos, 2000, [12]).

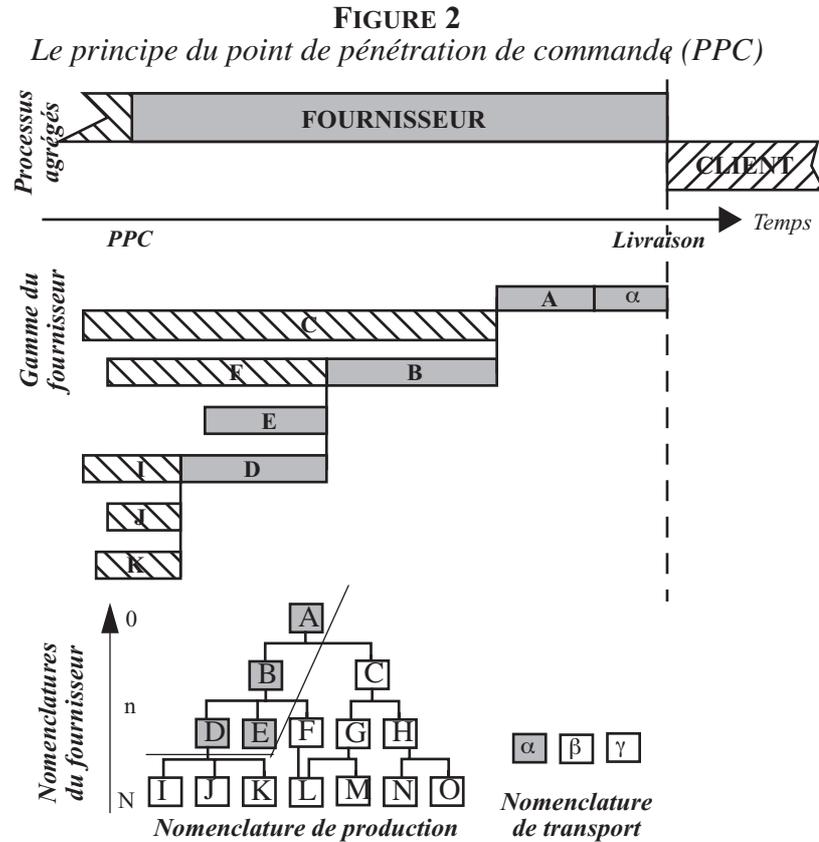
Le concept de PPC mobilisé ici reprend l'idée de l'influence, sur l'organisation de la production d'un fournisseur, de l'intervalle du temps séparant l'arrivée d'une commande ferme, du moment où la livraison est requise chez le client. Mais pour séparer sans trop d'ambiguïté les activités réalisées avant l'obtention de la commande ferme, de celles déclenchées consécutivement à cette prise de commande, il faut prendre en compte 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, [13]) différencie les systèmes de production par la localisation de stocks de produits ou de biens intermédiaires correspondant 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.

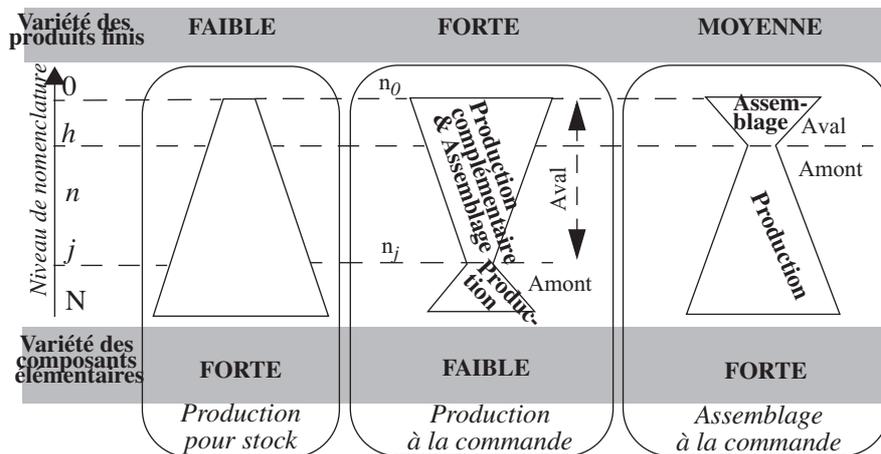
La figure 2 de la page 266 synthétise la démarche d'analyse combinant les informations relatives au délai dont dispose le fournisseur et aux nomenclatures et gammes concernées, via un graphique Gantt. Ce graphique, correspondant à l'ordonnancement de l'exécution de la commande du client, est établi au 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 la série unitaire). 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 ultérieurement. 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 comme cela a été analysé au § 1-1.2.

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

Comme on l'a déjà indiqué (§ 1-1.1), on peut avoir intérêt à produire pour stock en cas de production de masse de produits faiblement diversifiés et consommés avec une certaine régularité. Dans ce cas, le fournisseur n'utilise pas les informations du PPC qui sont sans réelle valeur ajoutée. L'approvisionnement de bougies dans une usine d'assemblage automobile est un bon exemple de ce cas de figure. Pour préciser ce point, il faut revenir sur la relation existant (Giard, 2003, [6]) entre la nomenclature de production, la variété des produits et la variété des composants en regardant la forme des nomenclatures habituellement rencontrées dans les trois modes de production illustrée à la figure 3 de la page 266.



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



Le premier mode de production correspond à l'exemple présenté au paragraphe précédent. Dans le second cas de figure — production à la commande — les entreprises produisent des composants de faible diversité rentrant dans la majorité des produits finis (au-dessus du goulet d'étranglement de la nomenclature) et procèdent ensuite à la production

et assemblage de composants spécifiques. On notera  $j$  ce niveau de nomenclature à partir duquel on commence à introduire la diversité des produits intermédiaires et gammes de production spécifiques jusqu'à obtention d'une variété suffisante de produits finis. Dans la production à la commande, la connaissance précise de la commande à honorer, permettra de gérer d'autant mieux la production que le PPC sera remonté suffisamment dans le temps car on a intérêt à ne pas stocker de composants créant de la diversité, (ceux situés au-dessus du goulet d'étranglement). D'une manière générale, pour un goulet d'étranglement situé à un niveau  $k$ , plus le rapport entre  $n_0$  et  $n_k$  (nombre de références nécessaires à un niveau de nomenclature  $0$  et  $k$ ) est grand et plus le PPC s'éloigne du niveau  $0$ , sans dépasser le niveau  $k$ , plus forte seront les économies potentielles réalisées sur les stocks (on reviendra sur ce point); en dessous du «goulet d'étranglement» les bénéfices escomptés seront faibles ou nuls.

Dans le troisième cas de figure, les entreprises fabriquent une large gamme de produits finis standardisés dont la variété s'appuie sur la combinaison d'options permettant de personnaliser chaque produit en fonction de la demande. La variété va s'appuyer sur une opération d'assemblage à la commande à un niveau de nomenclature que l'on note  $h$  et qui repose sur une conception modulaire de certains sous-ensembles associée à une différenciation du produit final par le client. On peut noter ici que plus le goulet d'étranglement de la nomenclature est élevé dans les deux schémas de la figure 3, plus la mise en œuvre de la différenciation retardée est forte. Dans ce cas de figure, si le PPC se situe en dessous du goulet d'étranglement la valeur ajoutée de cette information portera davantage sur les gammes de production, la diversité jouant au-dessus du goulet d'étranglement. Nous reviendrons sur ce point au § 2-1.1, pour dissocier l'effet stock, de l'effet nomenclature.

D'une manière générale, la valeur ajoutée que peut tirer le fournisseur d'une information transmise plus tôt dans ses processus de production dépend du mode de production qu'il utilise (production pour stock et *picking* à la commande, production pour stock et assemblage à la commande, ou production à la commande) et du positionnement du PPC par rapport au goulet d'étranglement représentant l'introduction du niveau de diversité de chaque structure correspondante.

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

Dans cette 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 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 qui peuvent conduire à modifier les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles (§ 2-2, page 271). Ce déplacement implique également une transformation des risques et de leur gestion (§ 2-3, page 272).

### 2-1 Mode de production 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 son mode de production. On commencera par analyser le cas le plus simple, celui

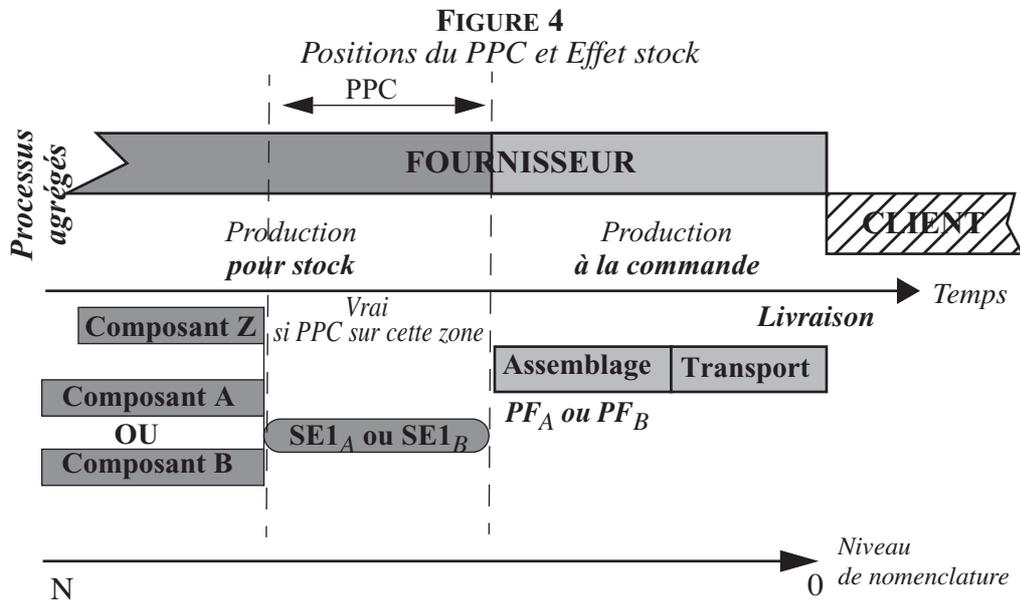
d'une organisation en ligne de production (§ 2-1.1), avant d'aborder celui d'une organisation en *flow shop* ou en *job shop* (§ 2-1.2, page 270).

### 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 sans temps mort. Pour pouvoir appliquer le raisonnement conduit sur la figure 2 de la page 266, il faut que chaque activité conduisant à la production d'une référence soit exécutée sur une ligne dédiée, ce qui conduit à une structure arborescente de lignes de fabrication ou d'assemblage. Ce cas, sans doute peu fréquent, permet d'amorcer le raisonnement avant d'aborder le cas plus compliqué d'organisations productives en *flow shop* ou en ateliers spécialisés, obligeant à raisonner en univers aléatoire.

La durée cumulée de l'ensemble des opérations réalisée sur une ligne, correspondant ici à une activité, est souvent importante. Dans le cas d'un approvisionnement synchrone, peu de ces activités ont des chances d'être pilotées «à la commande». L'éloignement de la frontière du PPC lié au passage à la production synchrone augmente notablement le nombre d'activités éligibles à cette forme de pilotage.

Examinons l'impact potentiel du déplacement du PPC sur le niveau des stocks de composants et sous-ensembles. La figure 4 de la page 268 décrit par un Gantt fléché 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.

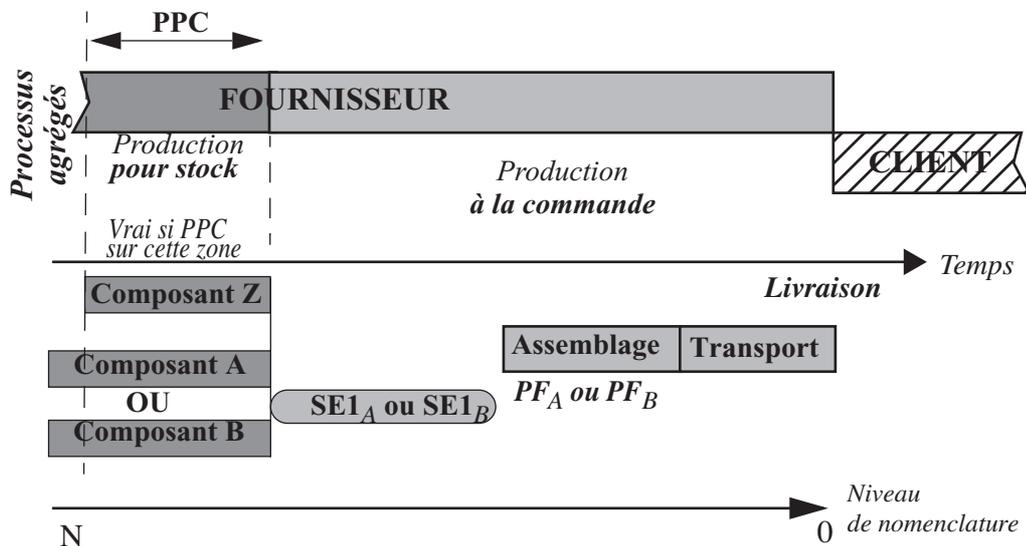


Dans cet exemple, le fournisseur procède à la production pour stock de composants standards Z et de composants optionnels mais non facultatifs A ou B (l'un de ces deux

composants étant nécessairement retenu). La seconde 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, le fournisseur doit produire pour stock, avec une prise en compte de l'incertitude par des stocks de sécurité (et donc ici pour 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.

La remontée dans le temps du PPC génère, pour le fournisseur, de nouvelles marges de manœuvre, ce qu'illustre la figure 5. L'incertitude sur le volume et la structure des sous-ensembles  $SE_A$  ou  $SE_B$  disparaît, permettant au fournisseur de supprimer les stocks de sécurité de ces références, diminuant mécaniquement les coûts d'immobilisations. Ce raisonnement se généralise sans difficulté pour plusieurs références dont les activités de productions franchissent la frontière du PPC.

**FIGURE 5**  
*Déplacement du PPC et Effet stock*

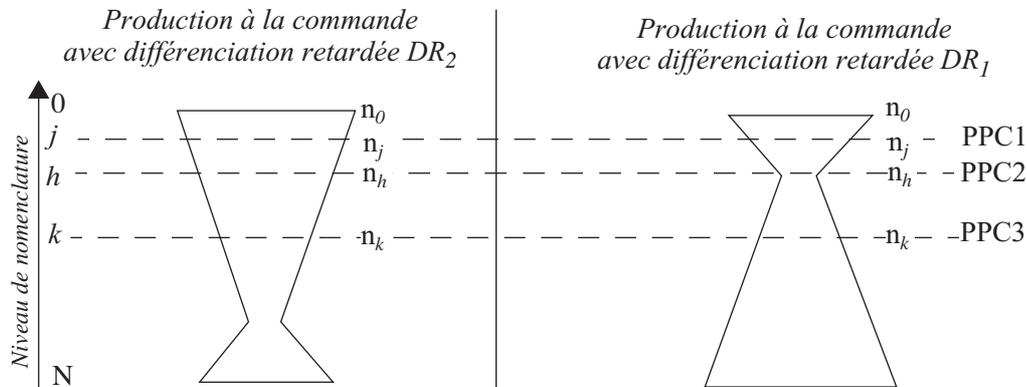


Si l'on reprend notre réflexion faite sur la relation existant entre la valeur ajoutée du positionnement d'un PPC et le mode de production du fournisseur (§ 1-3.2, page 265), on peut mettre en évidence que les gains potentiels pour le fournisseur varient en fonction du niveau de différenciation retardée retenu. La figure 6 de la page 270 permet de comprendre le mécanisme impliqué.

Notons  $n_0, n_1, \dots, n_N$  le nombre de références des niveaux de nomenclature 0, 1, ..., N. Pour simplifier, on considérera que, du niveau 0 au niveau  $j$  (ou  $h$  ou  $k$ ) de la nomenclature, tous les composants peuvent être fabriqués à la commande, les autres étant fabriqués pour stock. On distingue ici deux situations, celle d'une différenciation retardée forte, notée  $DR_1$ , et celle d'une différenciation retardée faible, notée  $DR_2$ . Dans le premier cas, le rapport  $n_j/n_0$  est plus fort que dans le second cas, ce qui implique qu'à diversité identique de produits finis (même valeur de  $n_0$  dans les deux cas), on observe une variété de composants fabriqués pour stock plus forte dans le cas  $DR_2$  que dans le cas  $DR_1$ . Cette diversité s'analysant à partir de l'ensemble des possibles doit être adaptée à une demande précise car elle ne mobilise qu'une partie de la variété potentielle ( $n_0 < n_0$ ). On peut

FIGURE 6

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



raisonnablement penser que le rapport  $n'_j/n'_0$  reste plus fort pour  $DR_2$  que pour  $DR_1$ , pour des utilisations similaires de cette diversité finale.

La remontée du point de pénétration de commande conduit donc à remplacer relativement plus de productions pour stock par des productions à la commande dans le cas  $DR_1$  que dans celui de  $DR_2$ . Ceci conduit à des économies potentiellement plus importantes parce qu'avec le déplacement de frontière, on n'a plus à produire certains sous-ensembles dont on sait maintenant qu'ils ne seront pas utilisés prochainement et parce que les stocks de sécurité des sous-ensembles restants sont devenus inutiles. Dans le cas  $DR_1$ , le déplacement du point de pénétration de commande en dessous du niveau  $h$  (correspondant aux composants de base utilisés pour créer la diversité désirée dans un processus d'assemblage) ne présente d'intérêt qu'au niveau des stocks de sécurité, toutes les références restant à produire.

### 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 (page 266) 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*<sup>1</sup> que dans le cas d'une structure en *job shop*<sup>2</sup>. Dans un cas comme dans l'autre,

1. Ce type de production se distingue de celui d'une organisation en ligne par trois caractéristiques (Giard, 2003, [6]):

- une tâche peut ne pas faire appel à tous les centres de production (l'ordre d'exécution reste le même),
- une dispersion importante des temps opératoires des opérations exécutées sur un même poste de travail,
- l'existence possible de files d'attente, de longueur variable dans le temps, en amont des différents postes de travail.

2. Ce type de production se distingue de celui d'une organisation en *flow shop* par deux caractéristiques (Giard, 2003, [6]):

- la coexistence de très nombreux cheminements de flux de production dans un même système productif,
- les opérations des tâches à exécuter sur un ensemble de centres de production différents peuvent l'être dans un ordre quelconque.

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'ordonnement 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'ordonnement de la série unitaire pour lequel des démarches simulatoires de type Monte Carlo (Giard, 2003, [6]) 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 attrayants. 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 fréquences) 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).

Une bonne organisation de plan transport est souvent un enjeu majeur en terme de coûts et de délais. Mais dans le cadre de la production synchrone, le transport de

masse ne répond pas au mieux aux nouvelles attentes: 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 consistent à assurer davantage la flexibilité quotidienne et la réactivité nécessaire pour faire face aux aléas (mode correctif) dans le respect des décisions tactiques. Nous reviendrons dessus plus en détail au § 2-3.2.

L'amélioration des processus repose sur leur modélisation. Leur simulation en univers certain permet de mieux cerner les gains d'efficacité que l'on peut espérer. Ces gains seront atténués par l'impact de perturbations que des mécanismes correcteurs pourront contrer à condition d'en accepter le coût (cf. § 2-3, page 272). Seule une approche complémentaire de simulation stochastique est alors en mesure de vérifier la pertinence et l'efficacité des mesures correctives proposées.

## **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'efficacité 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'efficacité 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.

Le client produisant sur ligne de fabrication ou d'assemblage peut désynchroniser les flux en modifiant la vitesse de son flux ou en modifiant l'ordre des produits personnalisés dans le flux.

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-tampons et le retard pris peut être rattrapé ultérieurement par un allongement de la durée de travail. En tout état de cause, 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 ligne<sup>1</sup>. 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». 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 monter<sup>2</sup>. 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

1. Une analyse détaillée de ce mécanisme peut être trouvée dans Giard (2003, [6]), p. 603-609.

2. Voir Giard (2003, [6]), p. 614-619.

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 partie de 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 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.

Si un certain niveau d'entropie est inévitable, tant chez le client que chez le fournisseur, et doit progressivement baisser par l'appel à des démarches d'amélioration continue, des mécanismes correcteurs sont indispensables pour s'assurer que les rendez-vous pris soient 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 vitesse du flux et l'ordre des produits. Sur le premier point, le rattrapage ne peut se faire que par un allongement momentané de la durée du travail. Le retard pris par le flux du client par rapport aux flux des fournisseurs se traduit par la création de stock qui peuvent poser des problèmes matériels importants et pousser le client à demander à ses fournisseurs de ralentir leurs flux pour assurer la synchronisation 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'ordonnancement 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 également 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 introduisant dans les gammes transport un temps additionnel de sécurité en usine avant livraison bord de chaîne. Pour une consommation en bord de chaîne prévue pour la pièce A à un instant  $t$ , le véhicule doit arriver à  $t-x$ ,  $x$  dépendant de la distance à parcourir et du type de flux (flux direct, tournée collectage...). 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'urgences utilisé dans l'industrie automobile est plus complexe ici 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 sans doute 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 par l'intangibilité de la commande passée au fournisseur 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 rivière<sup>1</sup>). Cette chasse aux dysfonctionnements

1. 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.

conduisant au non respect des rendez-vous entraîne une amélioration des processus sur lesquels l'entreprise fonde sa performance du long terme. Ce nouveau mot d'ordre du respect du séquençement repose implicitement sur la même démarche.

## 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, 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] R. & S. Biseau. *Maîtriser les flux industriels: les outils d'analyse*, Éditions d'organisation, Paris, 1998.
- [6] V. Giard. *Gestion de la production et des flux*, Economica, Paris, 2003.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] H. L. Lee, «Effective inventory and service management through product and process redesign», *Operations Research*, vol. 44, p. 151-159, 1996.
- [10] 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.
- [11] G. Paché et T. Sauvage, *La logistique: enjeux stratégiques*, Editions Vuibert, p. 47-51, Paris, 1999.
- [12] H. B Roos, *The concept of the Customer Order Commercial Decoupling (CODP) in logistics management; a case study approach*, Rotterdamn, May 2000, <http://www.few.eur.nl/few/people/roos>.
- [13] JC Tarondeau, *Produits et technologies, Choix politiques de l'entreprise industrielle*, Collection Dalloz Gestion, 1982.
- [14] P. Vallin, *La logistique – modèles et méthodes du pilotage des flux*, Economica, Paris, 2003.
- [15] RI Van Hoek, HR Commandeur et B Vos, *Reconfiguring logistics systems through postponement strategies*, Journal of Business logistics, vol.XIX, n° 1, 1998.