

GESTION DE CHAINES LOGISTIQUES DANS LE SECTEUR AERONAUTIQUE : OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR L'AMELIORATION DU PARTENARIAT

Caroline THIERRY^{*} et Gérard BEL^{**}

Résumé. – Efficacité, performance et satisfaction du client, tels sont les enjeux de la «gestion de la chaîne logistique». Le secteur de l'aéronautique n'échappe pas à la règle qui consiste à appréhender l'entreprise dans une approche transversale. Grâce à de nombreuses collaborations entre l'ONERA-DCSD et Airbus France depuis le début des années 1990 dans le cadre de différents projets visant à améliorer les relations avec les fournisseurs, nous avons constaté qu'il existe un besoin d'outils quantitatifs, ces outils permettant d'évaluer la pertinence d'un type de coopération donné entre deux acteurs de la chaîne logistique en termes de performances logistiques. Dans un premier temps, nous avons entrepris l'étude d'un outil d'aide à l'amélioration du partenariat destiné à un sous-traitant. L'objectif de cet outil est d'aider le sous-traitant à influencer sur ses relations avec ses donneurs d'ordres en lui donnant des éléments quantitatifs. Dans un deuxième temps, le point de vue du donneur d'ordres a été adopté en se plaçant au niveau de la relation donneur d'ordres/sous-traitant. L'objectif est ici de montrer les effets d'un type précis de coopération qui se concrétise sous la forme d'échanges et de prises en compte d'informations le long de la chaîne logistique. Pour atteindre cet objectif, un outil pédagogique permettant de représenter ces mécanismes de coopération, Logilink, est en cours de développement et de test chez Airbus France.

Mots-clés : Chaîne Logistique, Supply Chain Management, relation client-fournisseur, aéronautique.

^{*} Maître de conférences à l'université Toulouse II Le Mirail, 5 allées Machado 31058 Toulouse Cedex en collaboration avec ONERA-DCSD, e-mail : thierry@univ-tlse2.fr.

^{**}Maître de recherches à l'ONERA-DCSD. 2, avenue E. Belin BP 4025 31055 Toulouse, e-mail : gerard.bel@cert.fr.

1. Introduction

« L'accélération du progrès technique et de l'innovation, les difficultés d'accès aux nouvelles technologies, l'évolution rapide de la demande, l'incertitude croissante des débouchés et l'exacerbation des tensions concurrentielles ont engendré l'apparition de nouveaux modes de relations interentreprises » [Ravix et al. 2000]. Le produit est devenu le résultat du travail d'un réseau d'intervenants (sous-traitants, fournisseurs, producteurs, assembleurs, distributeurs...) au service du client : ce réseau constitue ce qu'on appelle la chaîne logistique. Le secteur de l'aéronautique n'échappe pas à la règle : les industriels de la construction aéronautique réalisent un cinquième de leur chiffre d'affaires dans une relation de partenariat, et la part achetée représente, en moyenne, 70% des coûts récurrents d'un avion.

La coopération entre les différents acteurs de la chaîne logistique est devenue un impératif. Depuis le début des années 90, Airbus vise à intégrer ses fournisseurs dans une vision d'ensemble par l'intermédiaire de différents projets. Ainsi, le projet Greenloop ([logistique magazine, 1993], [logistique magazine, 1996]) a permis la mise en place de nouveaux échanges d'informations avec les fournisseurs et la définition de solutions logistiques entre les fournisseurs et Airbus. Le problème se pose alors de pouvoir évaluer, en termes de performances logistiques, la pertinence d'un type de coopération donné entre deux acteurs de la chaîne logistique. L'objet de cet article est de présenter les travaux réalisés dans le cadre d'une collaboration avec Airbus France depuis 1995¹. Dans une première partie, nous définirons la notion de « gestion de la chaîne logistique » en fonction de l'état de l'art. Nous montrerons ensuite comment la gestion de la chaîne logistique dans le secteur aéronautique a débouché sur la conception d'outils d'évaluation des performances d'une relation de partenariat. Ces outils ont pour vocation d'être utilisés comme aide à la décision pour définir le comportement collaboratif approprié dans le cadre d'une relation de partenariat.

2. Gestion de chaînes logistiques

La « gestion de chaînes logistiques »² a donné lieu à de nombreuses définitions et à quelques états de l'art ([Tayur et al. 1999], [Tan 2001], [Croom et al. 2000]). Le concept de « chaîne logistique » donne lieu à des interprétations différentes. Notre objectif est de situer les travaux réalisés dans le domaine de la gestion de chaîne logistique dans l'aéronautique par rapport à l'état de l'art.

2.1 Chaînes logistiques

La définition la plus courante et probablement la plus générale de la « chaîne logistique » est « un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des

¹ Cette collaboration a pris plusieurs formes : projets d'élève de fin d'études ou de DEA (EADS, Cauquil, LTS), doctorants (K. Rota-Franz, O. Telle) accueillis (Cauquil) ou financés (EADS) par des entreprises Toulousaines du domaine aéronautique.

² « supply chain management » dans la littérature anglo-saxonne.

flux d'informations dans les deux sens » [Tayur et al 1999]. Cette chaîne est donc très étendue car les fournisseurs ont eux-mêmes leurs propres fournisseurs et les clients sont souvent fournisseurs d'autres clients. [New et al 1995] représentent les activités et les entreprises impliquées dans cette chaîne qui commence à l'extraction de la matière première en passant par les entreprises de production, les grossistes, les détaillants jusqu'au client final (cf. figure 1)

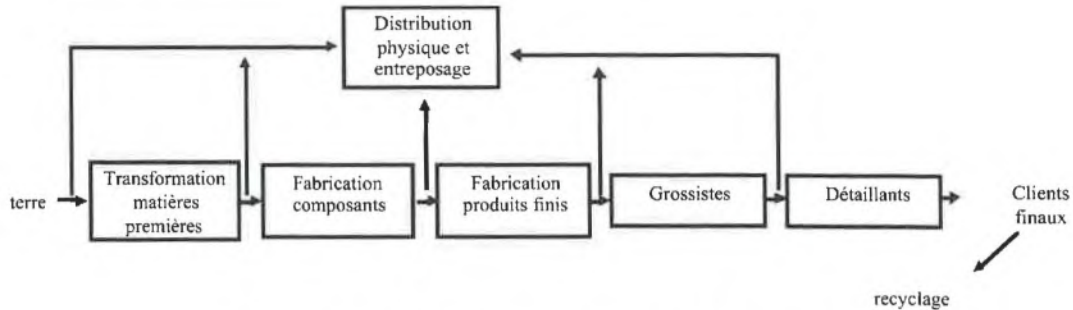


Figure 1. Activités et entreprises de la chaîne logistique

[Lee et al 1993] propose une vision plus « opérationnelle » de la chaîne logistique : la chaîne logistique serait « un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client ». Le rapprochement naturel entre la chaîne logistique et un réseau d'installations permet de schématiser de façon très simple n'importe quelle chaîne logistique. La représentation proposée figure 2 fait apparaître les fonctions d'approvisionnement (relation entre fournisseur et producteur), de transformation (par la production des biens) et de distribution (du produit final vers le ou les clients).

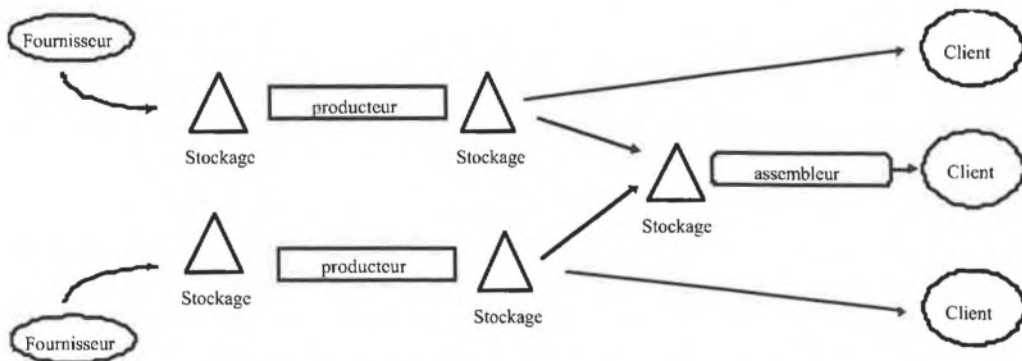


Figure 2. Représentation d'une chaîne logistique

On trouve également un troisième type de définition centrée sur une entreprise donnée : on ne parle plus ici de chaîne logistique du produit mais de chaîne logistique de l'entreprise. Par exemple, [Poirier et al 2001] donnent la définition suivante : « une chaîne logistique est le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients ». Dans cette

optique des modèles de chaîne logistique ont été proposés dont le modèle SCOR (cf figure 3) ou encore le modèle proposé par [Kearney 1994] (cf figure 4)

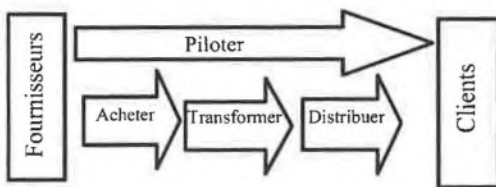


Figure 3. Modèle SCOR niveau 1

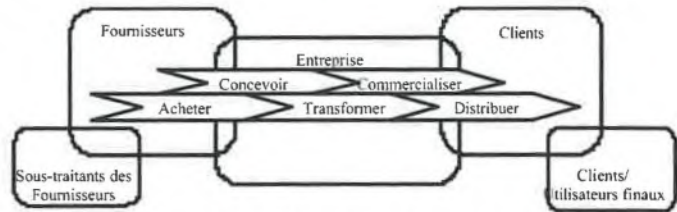


Figure 4. Modèle de chaîne logistique

2.2 Gestion de la chaîne logistique

Quelle que soit la définition retenue, la chaîne logistique fait intervenir plusieurs entreprises. La question suivante se pose alors : *qui gère la chaîne logistique ?* Deux visions s'opposent :

- la chaîne est gérée par une entreprise « dominante », généralement le donneur d'ordres principal ;
- la chaîne est le résultat d'un système de partenariat mettant en jeu plusieurs entreprises dominantes, système qui nécessite la mise au point de processus de coordination et de coopération complexes.

La gestion de la chaîne logistique peut être considérée suivant plusieurs approches en fonction du niveau d'intégration des acteurs :

- La première approche, souvent qualifiée de *logistique traditionnelle*, correspond à une vision partielle et morcelée de la gestion de la chaîne logistique concentrée sur les problèmes liés exclusivement à l'approvisionnement, à la production ou la distribution des biens au sein d'une même entreprise.
- La deuxième approche consiste à travailler sur les relations à l'intérieur de l'entreprise entre les fonctions d'approvisionnement, de production et de distribution. On parle alors de *chaîne logistique fonctionnelle*.
- La troisième approche consiste à travailler sur les relations entre plusieurs sites d'une même entreprise, voire en intégrant quelques fournisseurs ou clients directs de cette entreprise. Cette approche est qualifiée de gestion de la *chaîne logistique intégrée*. Les logiciels de type APS (Advanced Planning Systems) qui visent à une optimisation globale du fonctionnement de la chaîne logistique d'une entreprise ([Stadtler et al 2000]) se situent dans cette catégorie.
- La quatrième approche consiste à travailler au niveau d'une entreprise au sein de la (des) chaîne(s) logistique(s) à laquelle (auxquelles) elle appartient, en étudiant les relations avec toutes les autres entreprise de la (des) chaîne(s) logistique(s) aussi bien en amont (réseau d'approvisionnement) qu'en aval (réseau de distribution). On parle alors de *chaîne logistique collaborative*. Toutefois, on peut noter une tendance à considérer seulement la partie amont (les achats et les approvisionnements de l'acheteur industriel) ou seulement la partie aval (transport et distribution) de la chaîne logistique.

Par ailleurs, les problématiques relatives à la gestion de la chaîne logistique sont nombreuses. Elles couvrent les différents horizons de la prise de décision : long, moyen et court termes. On distingue notamment les problèmes de configuration (long terme), qui conditionnent les problèmes de circulation des différents flux (information, produits, financiers), de ceux liés à la coordination de ces flux (moyen et court terme).

Notre approche de la gestion de la chaîne logistique consiste à étudier une entreprise au sein de la (des) chaîne(s) logistique(s) à laquelle (auxquelles) elle appartient, voire une relation client-fournisseur au sein de cette (ces) chaîne(s) logistique(s). Nous nous situons donc au niveau de l'approche dite gestion de *chaîne logistique collaborative*.

Plus précisément nous nous intéressons aux décisions à moyen termes dans une optique d'évaluation des performances de la dynamique des relations de partenariat en aéronautique.

3. Approche adoptée pour la gestion des chaînes logistiques en aéronautique

Dans l'optique présentée au chapitre précédent, notre objectif est de proposer des outils d'aide à la décision ayant pour vocation d'être utilisés, dans le secteur aéronautique, pour définir le comportement collaboratif approprié de deux acteurs de la chaîne logistique liés par une relation de partenariat. Dans un premier temps, nous situerons le contexte du travail avec les spécificités de la gestion de la chaîne logistique en aéronautique. Puis, dans un deuxième temps, les principaux concepts des outils développés ou en cours de développement seront présentés.

3.1 Gestion de la chaîne logistique dans le secteur aéronautique

3.1.1 Chaîne logistique d'un avion

Dans le secteur aéronautique, la chaîne logistique se définit pour un produit donné (ou une famille de produits). [Rota et al 2000] définit la chaîne logistique d'un produit comme « *l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime* ». Le produit considéré est ici un avion (ou un type d'avions) qui peut être qualifié de produit-système du fait de la multiplicité des composants et de la complexité des mécanismes d'intégration des sous-systèmes qui le composent.

Les entreprises de l'industrie aéronautique qui composent la chaîne logistique de l'avion sont de plusieurs types :

- les grands constructeurs qui réalisent l'intégration du produit-système et qui ont vocation à être maîtres d'œuvre. L'organisation de ce type d'entreprise est multi-sites avec des implantations de sites de production dans plusieurs pays (exemple : Airbus) ;

- les équipementiers, semi-équipementiers et les prestataires de services à qui on confie un cahier des charges à partir duquel ils vont réaliser leur produit (équipements, semi-équipement, services) de la conception à la production ;
- les sous-traitants qui se voient confié un plan par le donneur d'ordres qui continue à maîtriser la compétence correspondante ;
- et enfin les fournisseurs qui travaillent à partir d'une norme.

L'exemple suivant (cf figure 5) illustre cette notion de chaîne logistique en aéronautique :

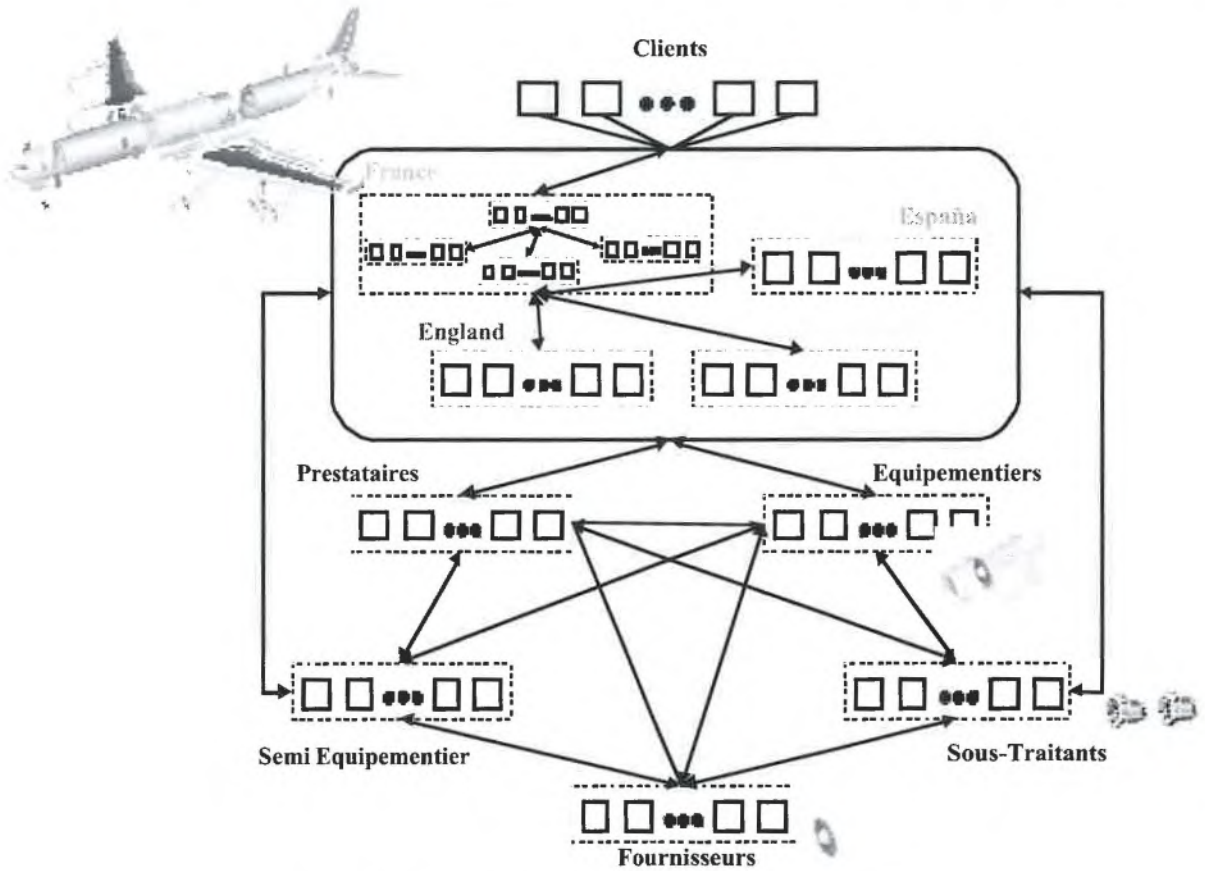


Figure 5. Exemple de chaîne logistique (Airbus)

3.1.2 Spécificités du secteur aéronautique

Le secteur aéronautique est caractérisé par un mode de production en petite série avec des temps de cycle longs. Le mode de production est un mode de production mixte. En effet, il s'agit d'un mode de production à la commande en ce qui concerne l'assemblage de systèmes et d'équipements personnalisés. Cette production est réalisée par les chaînes d'assemblage d'Airbus et par les équipementiers. Les produits sous-traités et ceux qui sont achetés aux fournisseurs relèvent, quant à eux, d'une production sur stock.

Plus spécifiquement, Airbus tire son avantage concurrentiel de la diversité des équipements proposés en vue de la personnalisation de la configuration de l'avion par les compagnies. Il existe donc un grand nombre de leviers de personnalisation et donc de configurations possibles. De plus, le choix des équipements peut être revu en cours de production par le client, ce qui génère des imprécisions sur les prévisions pour les composants. Il est donc impossible d'utiliser la cadence de production pour déterminer les approvisionnements, d'autant plus que le choix du fournisseur ou de l'équipementier peut dépendre du type d'équipement choisi.

3.1.3 La démarche d'Airbus

Depuis le début des années 1990, Airbus France³ a initié plusieurs projets consécutifs dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique. Dès 1992, dans un but de tension des flux au niveau de l'approvisionnement, Aérospatiale met en place le projet Greenloop dont les objectifs majeurs sont :

- la diminution des cycles ;
- la définition de solutions logistiques adaptées et contractuelles avec chaque fournisseur.

Ce projet comportait trois volets :

- Greenloop Industrie, dont le but était la réduction de cycle et la tension des flux physiques ;
- Greenloop Information, dont le but était le déploiement de systèmes d'informations basés sur l'EDI (Echange de Données Informatiques) chez les fournisseurs ;
- Greenloop Finance, qui consistait à supprimer les factures papier grâce à l'EDI et à la dématérialisation.

Dans le cadre de ce projet Greenloop, l'accent a été mis sur la réduction des cycles et l'amélioration de la qualité. Les premiers projets pilotes (10 fournisseurs) ont débuté en 1993, pour être étendus en 1994 à 20 fournisseurs avec la mise en place des Conditions Générales Logistiques (ou CGL). Les CGL définissent les spécifications et les paramètres logistiques tels que la durée de l'horizon du plan d'approvisionnement, les objectifs de cycle industriel, les objectifs de progrès. Elles sont placées en annexe du contrat d'achat. Depuis 1995, le projet est déployé sur l'ensemble des fournisseurs d'Airbus.

A partir de 1995, le groupe Aérospatiale s'engage dans un programme global qui fédère l'ensemble des actions de progrès de l'entreprise : le programme CAP (Croissance et Adaptation par les Processus). Au niveau logistique, CAP fixe des objectifs de réduction des coûts et des délais. Le projet Greenloop (Greenloop 2001) est poursuivi avec la mise en place de codes barres, d'avis d'expédition envoyés par EDI par le fournisseur d'Airbus, de flux direct (livraison de la ligne directement par le fournisseur) et de projets pilotes E-Business. Compte tenu des augmentations de cadence d'Airbus, l'accent est mis sur l'amélioration des performances des fournisseurs. Plusieurs solutions ou procédures sont mises en place :

³ successivement Aérospatiale, Aérospatiale-Matra, EADS-Airbus, Airbus France...

- suivi fournisseur (FAST : Failure Analysis & Supply Tracking) et analyse de la non-performance ;
- prévention des risques avec la mise en place d'audits risques, de systèmes de détection et de plans d'action associés ;
- conseil et support aux fournisseurs par des consultants Airbus (Supplier Development).

3.2 Outil d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat

Les projets menés par Airbus France qui ont été présentés ne peuvent pas être envisagés sans relations de partenariat entre les différents maillons de la chaîne logistique. A la notion de partenariat, il faut associer celle de gagnant-gagnant (win-win) au sens où chacun des partenaires doit sortir gagnant de la relation de partenariat dans laquelle il s'est engagé. C'est donc dans l'optique d'une évaluation quantitative des gains potentiels par la mise en place d'organisations logistiques basées sur la coopération que les outils d'aides qui vont être présentés ont été développés.

L'objet de ces outils est l'étude du processus dynamique de coopération entre les partenaires. Il s'agit d'étudier les conséquences des interactions entre les différents partenaires au cours du temps lorsqu'ils sont engagés dans leur activité de production. C'est pourquoi ces outils sont basés sur la simulation de ce processus dynamique de coopération impliquant plusieurs partenaires.

Différents modes de pilotage de la production et des approvisionnements seront étudiés, notamment le pilotage par des logiciels de type ERP (Entreprise Resource Planning) ou un pilotage en kanban.

Il ne s'agit surtout pas de refaire des logiciels de gestion de production ou des ERP (Enterprise Resource Planning) ni d'utiliser des modèles de planification aussi complets et complexes que ceux qui sont utilisés par ces logiciels ou par les APS (Advanced Planning Systems).

Il s'agit au contraire de simuler le comportement dynamique des différents acteurs de la chaîne logistique. Pour cela, il a été nécessaire de définir une modélisation plus agrégée et plus simplifiée, ainsi que des méthodes et des outils informatiques permettant d'évaluer dans la dynamique de coopération :

- l'influence des échanges bidirectionnels entre donneurs d'ordres et sous-traitants (informations, procédures...), notamment pendant le processus de planification à horizon glissant ;
- l'influence des méthodes de gestion utilisées aussi bien par le donneur d'ordres que par le fournisseur.

Les deux outils vont être présentés en décrivant le périmètre de l'étude, l'approche évaluative utilisée, les modèles de comportement associés, et enfin la mise en œuvre industrielle.

3.2.1 Outil d'aide pour le sous-traitant

3.2.1.1 Problème étudié

Dans cette première phase, nous nous sommes placés au niveau d'un sous-traitant. La caractéristique de ce sous-traitant est d'appartenir à plusieurs chaînes logistiques, dont certaines ne se situent pas dans le secteur aéronautique. En effet, ce sous-traitant a plusieurs donneurs d'ordres ainsi que plusieurs fournisseurs et des sous-traitants de capacité (cf. figure 6).

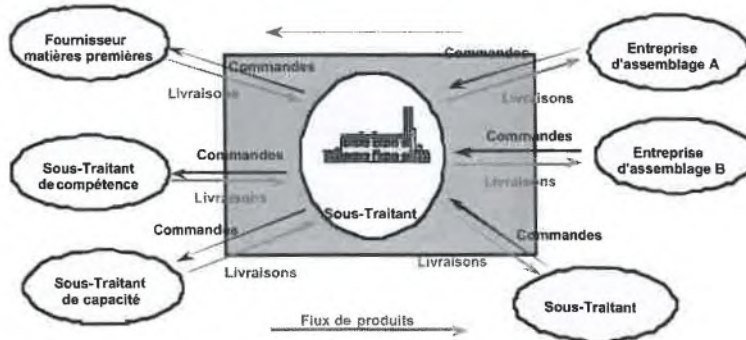


Figure 6. Point de vue du sous-traitant

Un des problèmes, pour ce type de sous-traitant, est de concilier les impératifs liés à une relation de partenariat avec son (ses) donneur(s) d'ordres principal(aux) et les impératifs de satisfaction des autres donneurs d'ordres. Notre objectif est de proposer des modèles, des méthodes et des outils permettant de donner au sous-traitant des éléments quantitatifs sur sa relation avec son donneur d'ordres. Cette approche a pour objectif :

- de mesurer l'intérêt de la prise en compte des informations échangées entre le donneur d'ordres et le sous-traitant ;
- de quantifier l'impact de la non-performance du fournisseur du sous-traitant étudié sur ses performances par rapport à son donneur d'ordres (effet boule de neige le long de la chaîne logistique)...

L'approche suivie est donc celle de l'aide à la décision ou à la négociation dans le domaine de la gestion à moyen terme de la chaîne logistique.

Le périmètre de l'étude correspond au cas de sous-traitants qui planifient leur production et ne sont pas organisés en ligne de production. L'utilisation des différentes ressources est donc partagée entre les différents produits commandés par les donneurs d'ordres.

3.2.1.2 Approche adoptée

Pour étudier la dynamique des relations entre donneur d'ordres et sous-traitant, il faut modéliser l'interaction au cours du temps des comportements des différents acteurs impliqués dans la chaîne logistique. L'approche choisie correspond à celle de la simulation temporelle. Le

modèle de simulation élaboré reproduit les interactions entre les différents acteurs de la chaîne logistique (donneur d'ordres, sous-traitant, sous-traitant ou fournisseur du sous-traitant) par échanges de produits et d'informations en fonction de leurs propres comportements. Le fonctionnement de cette simulation est représenté de manière schématique en figure 7.

A la date t , les plans de production, d'approvisionnement et de livraison sont déterminés. Pour construire ces plans, un certain nombre d'informations sont utilisées : commandes fermes ou prévisionnelles, délais de livraison et délais d'approvisionnement prévisionnels.

A la période suivante ($t+p$), les nouvelles informations disponibles sont déterminées en fonction du comportement simplifié des clients, de l'entreprise et des fournisseurs. Ces nouvelles informations sont utilisées pour définir les plans suivants (début de la période $t+p$) dont les résultats permettent de déterminer de nouvelles informations disponibles, et ainsi de suite sur l'horizon de simulation. Au cours de la simulation, un certain nombre d'indicateurs sont calculés pour chiffrer les performances locales et globales de la chaîne.

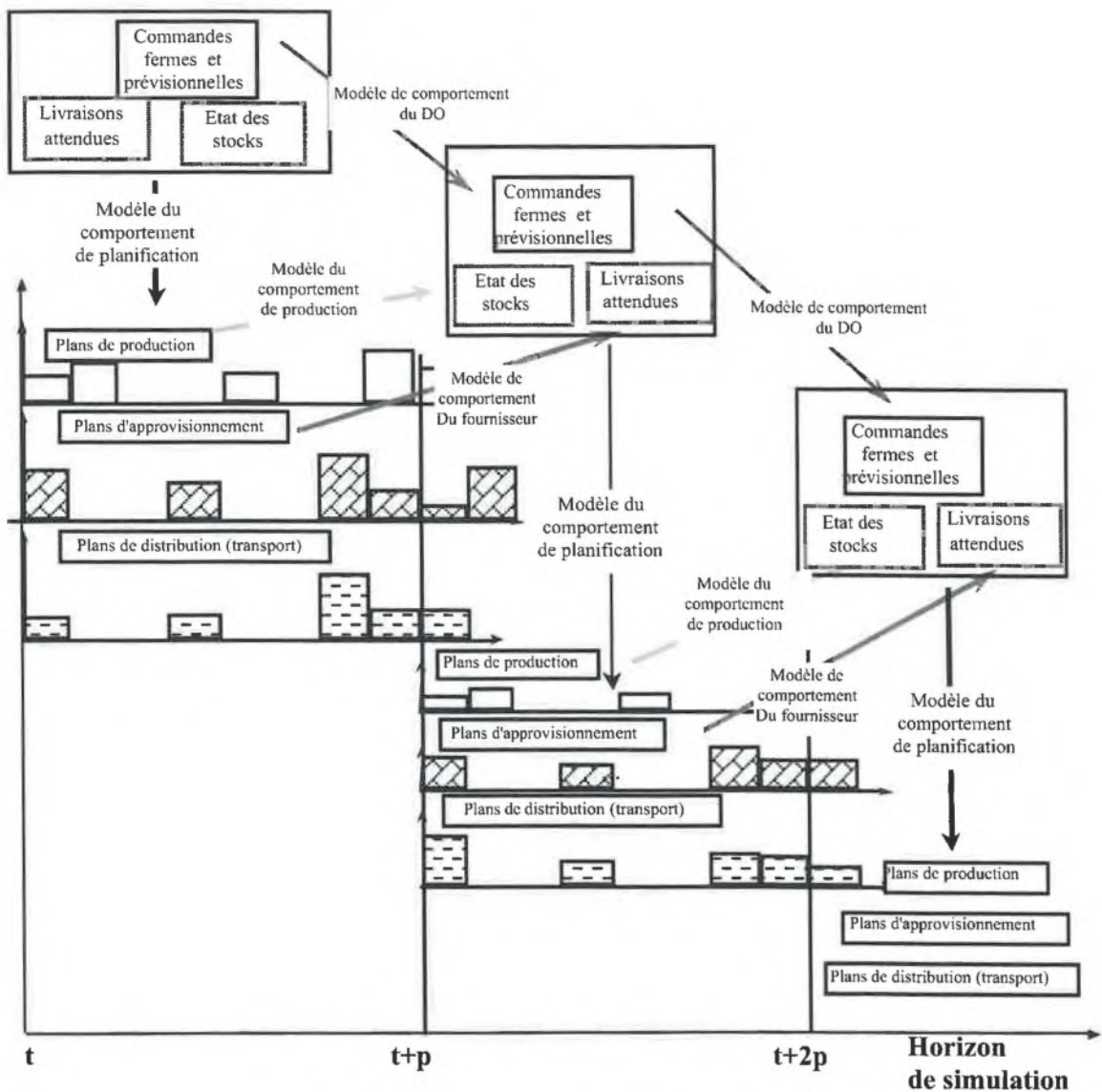


Figure 7. Fonctionnement de la simulation

Les comportements des différents acteurs étudiés sont représentés dans plusieurs modèles :

- un modèle du comportement de planification du sous-traitant, qui permet de déterminer les plan de production, d'approvisionnement et de distribution ;
- un modèle du comportement de production du sous-traitant en fonction du plan de production prévisionnel généré par le modèle précédent ;
- un modèle du comportement des donneurs d'ordres et fournisseurs du sous-traitant étudié.

La modélisation du comportement de planification du sous-traitant est celle qui est la plus détaillée puisque c'est la dynamique de ce comportement qui est au centre des

préoccupations de la recherche. La modélisation du problème de planification s'est appuyée sur les travaux déjà réalisés ([Thierry et al 1993] ; [Thierry 1994]) sur la modélisation de problèmes dits "multi-sites". Ces travaux ont permis de mettre en évidence qu'un noyau de modélisation, assez proche des modèles de type lot-sizing utilisés dans certains problèmes de gestion de production et que l'on trouve également dans les logiciels de type APS..

Le modèle de planification prend la forme d'un problème de programmation linéaire de grande taille. Il tient compte :

- des capacités finies des ressources et des possibilités de sous-traitance de capacités à des sous-traitants du sous-traitant ;
- des nomenclatures des différents produits ;
- des commandes fermes du donneur d'ordres ;
- des différents articles déjà en stock à différents niveaux d'élaboration au moment de la planification et qui proviennent des productions décidées lors de planifications antérieures ;
- mais aussi d'un plan prévisionnel de commandes provenant des donneurs d'ordres. Ces prévisions ne sont pas contractuelles. Elles sont plus ou moins précises et certaines. Le donneur d'ordres fournit ces prévisions afin de permettre au sous-traitant d'anticiper sur les futures commandes fermes et, ainsi, de pouvoir répondre plus rapidement à celles-ci. En effet, les temps de fabrication d'un produit sont, en général, supérieurs au délai entre la date de commande ferme et la date de livraison demandée : la livraison se fait alors, en partie, sur stock. Le plan prévisionnel permet ainsi d'anticiper les besoins du client en fabriquant les différents composants nécessaires en avance de phase. Tout le problème est "d'anticiper juste ce qui est nécessaire". Le modèle permet de prendre en compte simultanément les prévisions et les commandes transmises par le donneur-d'ordres et donc de déterminer l'affectation "optimale" des quantités produites sur prévisions aux commandes fermes.

La résolution de ce problème à l'aide des moteurs de résolution adaptés (ILOG/CPLEX) permet d'obtenir :

- le plan de production : résultat standard de ce type de modèle c'est-à-dire les quantités à produire et à stocker pour les différents articles et pour les différentes périodes de l'horizon ;
- le plan d'approvisionnement : quantités (à produire ou à commander à ses propres sous-traitants) de composants justes nécessaires à la satisfaction éventuelle des commandes prévisionnelles (composants dont on est certain que, s'ils ne sont pas produits avant une certaine date, il ne sera pas possible de livrer dans les délais une commande prévisionnelle si celle-ci devient ferme) ;
- le plan de distribution : affectation des composants en stock (fabriqués antérieurement pour permettre de satisfaire des commandes prévisionnelles) à des commandes fermes.

Le modèle de comportement de production du sous-traitant permet de caractériser le processus de production, et donc les aléas qui se traduisent par une modification du plan de production. Ce comportement de production basé sur la planification est modélisé par un écart

entre les niveaux de stocks prévisionnels (issus de la planification) et les niveaux de stocks effectifs.

Les modèles de comportement du donneur d'ordres et ceux des fournisseurs du sous-traitant étudiés sont plus macroscopiques. Un canevas de modélisation cohérent avec la modélisation du sous-traitant présenté ci-dessus a été développé pour modéliser différents types d'entreprises. Le modèle du donneur d'ordres permet de caractériser ses politiques d'approvisionnement ainsi que la manière dont il communique ses demandes (plans prévisionnels, appels...) au sous-traitant. Ce modèle a notamment permis de représenter la transmission ou non de prévisions, l'horizon couvert par ces prévisions, et leur fiabilité si elles existent. Pour les fournisseurs du sous-traitant, on représente, par exemple, la façon dont il respecte les délais et les quantités commandées.

3.2.2 Outil d'aide pour le donneur d'ordres

3.2.2.1 Problème étudié

Nous nous plaçons ici au niveau du donneur d'ordres qui veut améliorer ses relations de partenariat avec ses sous-traitants et généraliser ce mode de fonctionnement entre ses sous-traitants et leurs propres sous-traitants. C'est donc la relation entre un donneur d'ordres (processus d'approvisionnement) et un de ses sous-traitants (processus de distribution, de production et d'approvisionnement) qui est étudiée en tenant compte des contraintes imposées par d'autres acteurs de la (des) chaîne(s) logistique(s) dans laquelle (lesquelles) les deux acteurs étudiés sont impliqués (cf. figure 8).

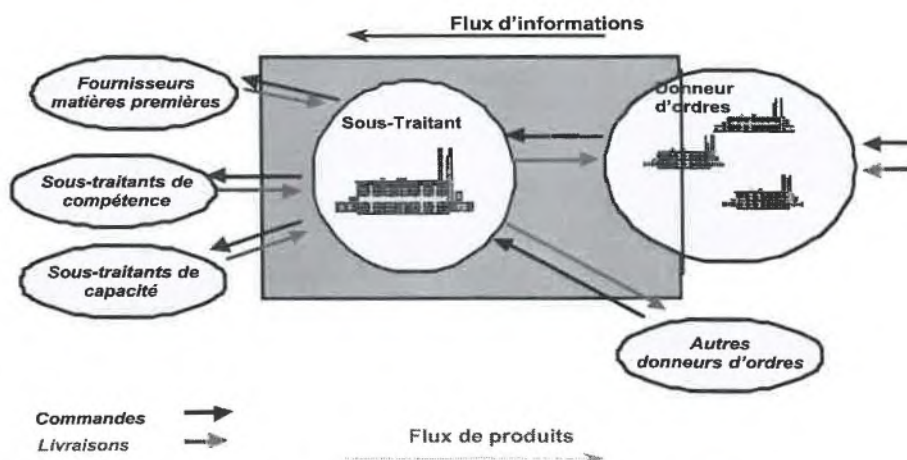


Figure 8. Relation donneur d'ordres/sous-traitant

Dans cette optique, nous nous sommes donné comme objectif de proposer un outil d'aide à l'amélioration du partenariat au niveau d'une relation donneur d'ordres/sous-traitant (client/fournisseur). Cet outil est un outil d'évaluation de performances : performances du donneur d'ordres (processus approvisionnement), performances du sous-traitant (processus de

distribution, de production et d'approvisionnement) et performances de la relation ([Telle et al 2001]). L'évaluation quantitative des performances est effectuée essentiellement en termes de délais et d'en-cours (qui pourront ensuite être valorisés sous forme de coûts).

Dans la continuité de l'étude précédente, le modèle de comportement du fournisseur a été enrichi, pour intégrer le processus d'approvisionnement et celui de distribution. Par ailleurs, le modèle de gestion de production a été étendu pour prendre en compte des politiques de gestion autres que la planification (kanban par exemple). Par ailleurs, on modélise le comportement d'approvisionnement du donneur d'ordres étudié. La figure 9 précise le périmètre couvert par l'outil.

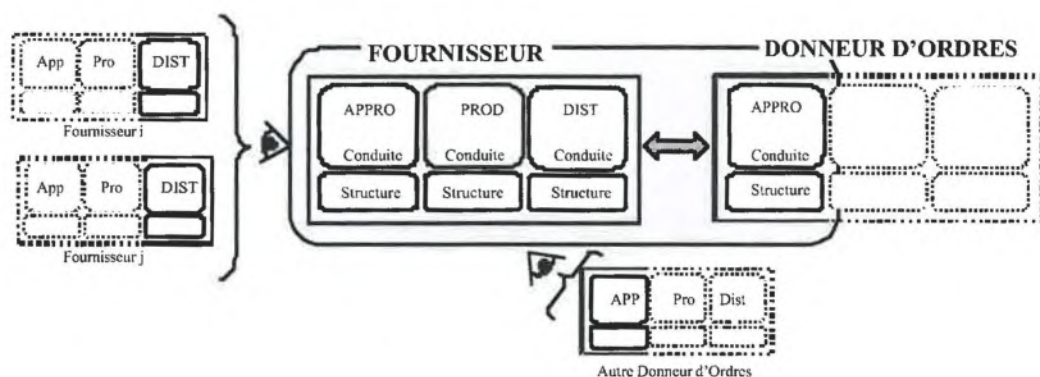


Figure 9. Périmètre de l'outil

Dans une optique de gestion intégrée de la chaîne logistique, l'utilisation de cet outil doit être envisagée en cascade le long de la chaîne logistique.

3.2.2.2 Approche adoptée

Nous avons vu au chapitre 3.1.1, que le donneur d'ordres à qui est destiné l'outil, Airbus, a plusieurs types de fournisseurs : équipementiers, sous-traitants de capacité, sous-traitant de compétence, fournisseurs de matières premières. Ces fournisseurs d'Airbus ont des comportements de pilotage industriel qui peuvent être très différents les uns des autres, ce qui a dû être pris en considération. Pour modéliser aussi bien des politiques de type planification (comme dans l'étude précédente) que des politiques de type gestion de stock, kanban..., le choix d'une technique de simulation à événements discrets a été fait. En effet, cette technique permet d'intégrer des événements asynchrones, comme l'arrivée des cartes kanbans par exemple. Lors de la simulation, la planification prévisionnelle est, quant à elle, déclenchée à période fixe (période de replanification).

Comme dans l'étude précédente, les comportements des différents acteurs sont représentés par plusieurs modèles :

- des modèles du comportement de production du fournisseur ;
- des modèles du comportement d'approvisionnement et de distribution du fournisseur ;
- des modèles du comportement d'approvisionnement du donneur d'ordres.

Les modèles de production du fournisseur consistent alors à représenter la dynamique de circulation des flux de production sur des ressources agrégées : lignes de production, atelier... Une logique de changement d'état associée à ces ressources agrégées permet de modéliser la dynamique du système à ce niveau de représentation. Plusieurs politiques de gestion ont été considérées :

- la planification ;
- la production en kanban qui peut être le fait de l'échange de kanbans inter-entreprises ;
- la cohabitation d'une planification et d'échanges de kanbans (cas répertorié dans un certain nombre d'entreprises dans le secteur aéronautique). Dans ce cas, des ordres de fabrication issus de la planification se partagent les mêmes ressources que les produits gérés en kanban ;
- la gestion de stock ...

Par exemple, considérons le cas où, sur une même ressource, certains produits sont gérés en kanban alors que d'autres font l'objet d'une planification. La simulation se déroule de la manière suivante :

A période fixe (période de révision de la planification, sur la figure 10) :

- un état du système (niveau de stock) est réalisé ;
- cet état sert de référence pour le modèle de planification qui calcule les quantités à réaliser selon des expressions de besoins c'est-à-dire des ordres de fabrication ;
- ces ordres de fabrication (of_i sur la figure 10) sont intégrés dans une liste des productions à effectuer (EVOLUTION DE LA LISTE sur la figure 10).

Au cours du temps, les ordres kanban (KANBAN sur la figure 10) seront intégrés dans la liste. Du point de vue de la simulation du processus de production, lorsqu'un événement le permet (par exemple la libération d'une ressource), des heuristiques permettent de choisir la production à effectuer, dans la liste commune des of_i et kb_i à accomplir. Elles permettent de représenter différents comportements réels d'acteurs industriels au niveau du choix des productions à réaliser. Ces heuristiques utilisent notamment des règles de priorités telles que FIFO, retard le plus pénalisant, minimisation de changement de série, priorité aux ordres planifiés, priorités aux ordres kanban, etc.

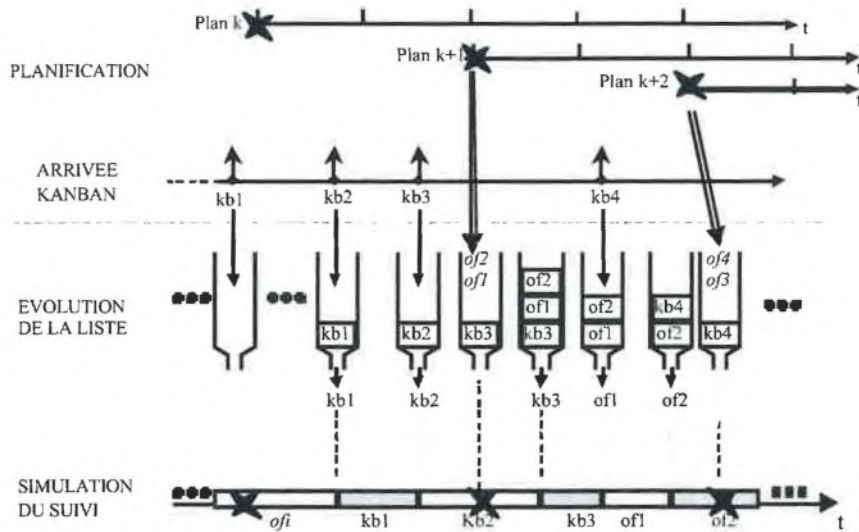


Figure 10 : Exemple de simulation, capacité unitaire, heuristique FIFO

Le modèle de planification qui a été utilisé est très proche de celui développé dans l'étude précédente. Toutefois, la procédure de calcul n'est pas un outil de programmation linéaire mais une heuristique en deux temps : planification à capacité finie puis ajustement charge capacité (type MRP).

Les modèles d'approvisionnement et de distribution du fournisseur, de même type que ceux qui sont utilisés au niveau de la production, traduisent les politiques logistiques de chaque entreprise vis-à-vis de son environnement direct. Il en résulte des dates de réception de produits, pour le modèle d'approvisionnement, et des dates de mise à disposition de produits, pour le modèle de distribution.

Les politiques d'approvisionnement du donneur d'ordres qui ont été modélisées sont celles d'Airbus. En effet, dans le cadre du projet Greenloop, des solutions logistiques ont été définies et incluses dans les Conditions Générales Logistiques des fournisseurs.

3.2.3 Résultats obtenus

3.2.3.1 Outil d'aide pour le sous-traitant

L'outil d'aide au sous-traitant décrit précédemment a été utilisé sur un cas industriel proposé par la société CAUQUIL ([Rota et al 1998a]). Cette PME d'une trentaine de personnes est spécialisée dans la production en petites séries de pièces mécaniques de précision. Son catalogue comporte près de mille références et son chiffre d'affaires est réalisé à 95% dans le secteur aéronautique. Cette collaboration nous a notamment permis de valider le modèle de planification. Cette phase de validation a été réalisée en étroite collaboration avec le responsable de la production (en charge du planning). Une comparaison a été effectuée entre les

résultats obtenus par le prototype sur les données industrielles et ceux qui ont été obtenus par le logiciel de GPAO de l'entreprise avec différents paramétrages. Cette comparaison a permis de montrer l'aptitude du prototype à exhiber une solution comparable à celle qui a été obtenue par le progiciel utilisé avec des temps de résolution acceptable.

Des simulations ont ensuite été effectuées sur un exemple de taille réduite issu du cas industriel pour vérifier l'influence de certains paramètres sur la performance du sous-traitant. Ces simulations ont été organisées autour de deux thèmes : l'intérêt de prendre en compte les prévisions d'une part et l'influence du comportement des fournisseurs sur les performances de l'entreprise d'autre part.

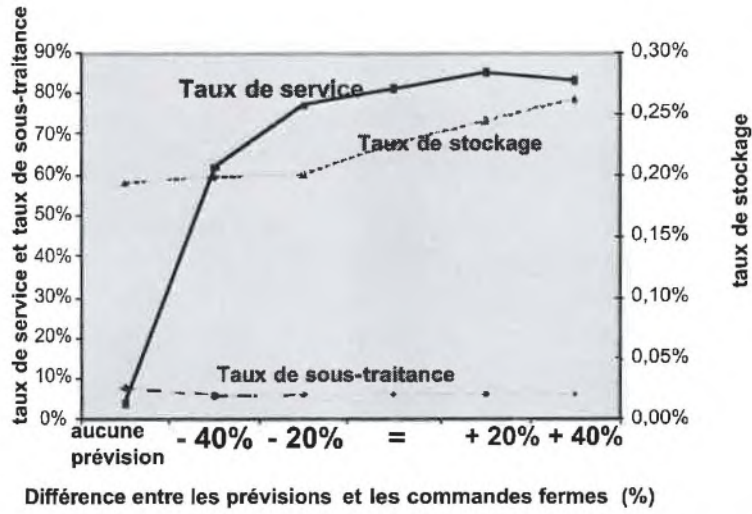
Pour ce qui est du premier thème, notre objectif a été de répondre à deux questions :

- Est-ce que le fait de considérer des prévisions même fausses dans le processus de planification peut améliorer les performances de l'entreprise ?
- La taille de l'horizon couvert par les prévisions peut-elle influencer les performances de l'entreprise ?

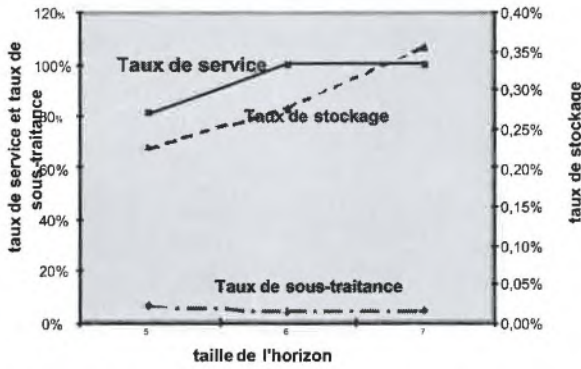
Pour répondre à ces deux questions, différentes simulations ont été réalisées sur l'exemple considéré et comparées à une solution « idéale », quoique irréaliste, où on connaîtrait toutes les commandes au début de la simulation et à la solution « défavorable » où aucune prévision n'est prise en compte.

On a pu notamment montrer que :

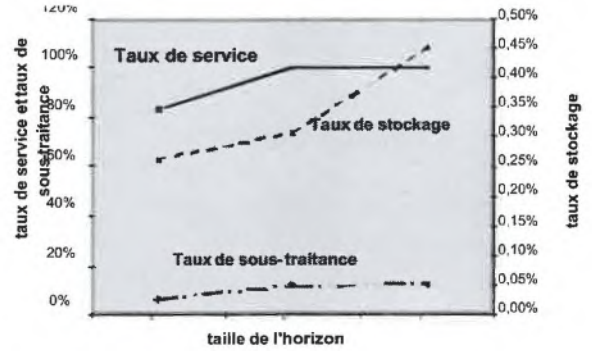
- La prise en compte de prévisions, même inexactes, dans le processus de planification peut améliorer le taux de service de manière significative. Cette amélioration s'accompagne dans le cas étudié d'une augmentation des stocks, notamment lorsque ces prévisions sont surévaluées (cf. graphique 1 qui représente l'évolution des trois indicateurs : taux de service, de stock et de sous-traitance en fonction de l'écart entre la prévision et les commandes fermes). Par contre, le taux de sous-traitance n'est pas affecté de manière notable. En effet, la politique de sous-traitance de l'entreprise étudiée consiste à n'utiliser celle-ci qu'en dernier ressort.
- La taille de l'horizon couvert par les prévisions peut avoir une influence non négligeable sur les performances du sous-traitant. L'idée selon laquelle plus l'horizon sur lequel on aura des prévisions est long, meilleurs seront les résultats, a été largement mise en défaut. En effet, il se peut que, du fait notamment de la politique de gestion utilisée par le sous-traitant (dans le cas étudié : production au plus tôt), la prise en compte de prévisions puisse avoir un effet négatif (sur les stocks et la sous-traitance) même lorsque ces prévisions sont fiables (cf graphique 2 et graphique 3).



Graphique 1. Evolutions des indicateurs en fonction de la précision des prévisions



Graphique 2. Influence de l'horizon couvert par les prévisions avec prévisions exactes



Graphique 3. Influence de l'horizon couvert par les prévisions avec prévisions à +40%

Par ailleurs, nous avons pu montrer que le sous-traitant peut avoir intérêt à prendre en compte les paramètres qui régissent le comportement du fournisseur dans l'élaboration de son plan de production.

Les résultats quantitatifs obtenus dépendent étroitement de l'exemple étudié et des politiques de gestion utilisées. Des études analytiques sur la même problématique dans d'autres secteurs conduisent à des résultats similaires [Karaesmen et al 2002]. Ces résultats ont montré, en tout état de cause, l'intérêt d'effectuer des évaluations de ces comportements dynamiques permettant de déterminer l'influence de ces paramètres (prise en compte des prévisions et taille de l'horizon sur lequel elles sont prises en compte).

3.2.3.2 Outil d'aide pour le donneur d'ordres

L'outil, aujourd'hui à l'état de prototype, est proposé avec une trame type de modélisation du comportement des acteurs. Cette trame pourra être complétée de manière autonome par chacun des acteurs : donneur d'ordres (Airbus) et sous-traitant. Chaque acteur ne voit que ses données propres et les informations en circulation entre les deux acteurs de la chaîne. Le succès de cet outil en contexte industriel réside dans la pertinence des données avec lesquelles il fonctionnera. Elles doivent être :

- suffisamment réalistes pour permettre de comparer les résultats des politiques étudiées aux résultats des politiques réelles ;
- d'un accès sécurisé et limité pour assurer à la relation client/fournisseur une authenticité dont l'essence est la non divulgation des caractéristiques internes de chacune des parties.

D'autre part, on sait que l'agrégation de données industrielles (ressources, temps de cycle...) est souvent une des difficultés au niveau de l'utilisation des logiciels d'aide à la décision. Les logiciels de types MRP ont notamment montré leurs limites lorsque la saisie et la mise à jour des données n'étaient pas cohérentes. La mise au point d'une méthodologie de modélisation des ressources et des flux à un niveau d'agrégation adapté a donc été nécessaire.

Cette méthodologie est en cours de mise au point sur un site d'Airbus qui peut être considéré comme un sous-traitant des lignes d'assemblage. Elle sera présentée aux fournisseurs lors d'une phase de formation pour leur permettre de paramétrer seuls le logiciel en gardant ainsi leur autonomie.

Après cette phase de mise au point en interne, cet outil a vocation à être utilisé dans le cadre du suivi par Airbus de ses fournisseurs et des actions d'amélioration continue.

4. Conclusion

Depuis le début des années 1990, Airbus France s'est engagé dans une démarche de réduction des coûts et des cycles au sein de la chaîne logistique. Les travaux de recherche sur la gestion de la chaîne logistique que nous avons présentés ici s'inscrivent dans cette démarche. Les outils développés permettent de prendre en compte une partie de la (des) chaîne(s) logistique(s) dans laquelle (lesquelles) sont impliquées les entreprises. Différents types de pilotage sont pris en compte, de façon très macroscopique. Les performances sont évaluées en termes de délais, de quantités stockées ou sous-traitées. L'objectif de ces outils n'est pas de déterminer les meilleures lois de pilotage ni, *a fortiori*, les meilleurs paramètres de ces lois. Ils se polarisent surtout sur la prise en compte des interactions entre les différentes entités coopérantes. L'objectif est en effet de montrer quantitativement (en termes de performances logistiques) les effets d'un type précis de coopération qui se concrétise par des échanges d'informations.

La mise en œuvre de ces outils, dans le cadre de l'amélioration des relations logistiques entre Airbus et ses fournisseurs, est en cours de validation sur un site Airbus France (considéré dans ce cas comme un équipementier fournissant ses produits aux lignes d'assemblage) avant le

démarrage des premiers projets pilotes chez des sous-traitants. L'évaluation des performances des politiques de gestion devra alors impliquer chacun des acteurs de la relation. De plus, pour aller dans le sens d'une plus grande coopération entre les acteurs de la chaîne logistique, le donneur d'ordres « dominant » (Airbus) devra convaincre ses fournisseurs de l'utilité d'amorcer le même type de démarche (mise à disposition de l'outil) avec leurs propres fournisseurs.

Remerciements

Les travaux présentés ici sont issus de nombreuses collaborations (plus ou moins institutionnalisées) avec des stagiaires, des doctorants, et des industriels. Nous tenons à remercier particulièrement Karine Rota-Franz ([Rota et al 1997], [Rota et al 1998a], [Rota et al 1998b], [Rota 1998], [Rota et al 1999]) Olivier Telle ([Rota et al 1998a], [Caillaud et al 00], [Telle et al 2001], [Telle 2001], [Thierry et al 2001]) et Thierry Pistre ([Telle et al 2001]), qui ont pris une part active à ce travail.

Par ailleurs, une partie de ces travaux a été réalisée dans le cadre du projet Dynamique des Relations entre Entreprises du programme CNRS PROSPER.

5. Bibliographie

- [Caillaud et al 2000] Caillaud E., Thierry C., Lamothe J., Telle O. et Gourc D. « Collaboration PMI-Enseignement supérieur pour l'informatisation de la gestion industrielle des PMI », *Revue Française de gestion industrielle* Vol 19 n°2, 2000.
- [Croom et al 2000] Croom S., Romano P., Giannakis M., "Supply chain management: an analytical framework for critical literature review", *European Journal of Purchasing & Supply Management* n°6, 67-83, 2000.
- [Karaesmen et al 2002] Karaesmen F., J.A. Buzacott et Y. Dallery, "Integrating advance order information in production control" à paraître dans IEE Transactions.
- [Kearney 1994], Kearney A.T., « Management approach to Supply Chain Integration », *Rapport aux membres de l'équipe de recherche*, A.T. Kearney, Chicago, USA, 1994.
- [Lee et al 1993] Lee H.L. et Billington C., « Material management in decentralized supply chain », *Operations Research*, vol 41, n°5, p. 835-847, 1993.
- [logistique magazine 1993], *Logistique magazine* n° 82, 1993.
- [logistique magazine 1996] *Logistique magazine* n°109, 1996.
- [New et al 1995], New S.J. et P. Payne, « Research framework in logistics : three models, seven dinners and a survey. », *International Journal of Physical Distribution and logistics management*, 25 n°10, 1995.
- [Poirier et al 2001], Poirier C, et Reiter S.E., *La supply chain*, Dunod.
- [Ravix et al 2000]. Ravix T, Canard F., Guillou S., Quere M. et Vouillon V. « Les modes de coopération interentreprise dans l'industrie aéronautique et spatiale », La documentation Française, collection les rapports de l'observatoire économique de la défense, 2000.
- [Rota et al 2000] Rota K., Thierry C. et Bel G., Ouvrage IC2 : Performances industrielles et gestion des flux (chapitre 5) Hermès.

- [Rota et al 1999] Rota K., Bel G., Thierry C., " Relations clients-fournisseurs et planification de la production pour une entreprise impliquée dans plusieurs chaînes logistiques ", 3^o congrès international de génie industriel, Montréal, Canada, 1999.
- [Rota 1998], Rota K, *Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources. Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique*, Thèse de doctorat, Supaéro, France, 1998.
- [Rota et al 1998a] Rota K., Thierry C., Telle O. et Bel G., " Toward a negotiation support system to increase partnership between principals and subcontractor in aeronautics ", *First International SMESME Conference (" Stimulating Manufacturing Excellence in Small & Medium Enterprises ")*, Université de Sheffield, Angleterre, 1998.
- [Rota et al 1998b] Rota K., Thierry C. et Bel G., " Supply chain management : a supplier perspective ", 9^{ème} symposium sur les technologies avancées de l'information de contrôle-commande pour les systèmes de production (conférence IFAC : International Federation of Automatic Control), Nancy-Metz, France, 1998.
- [Rota et al 1997] Rota K., Thierry C., Bel G., " Capacity constrained MRP systems : a mathematical programming model integrating forecast, backlog orders and suppliers ", 2^o congrès international franco-québécois : le génie industriel dans un monde sans frontière, Albi, France, 1997.
- [Stadtler 2000] Stadtler R. H. et Kilger C., *Supply chain Management and Advanced Planning*, Springer Verlag 2000.
- [Tan 2001] Tan K.C., "A framework of supply chain management literature", *European Journal of Purchasing & Supply Management* n°7, 39-48, 2001.
- [Tayur et al 1999], Tayur S., Ganeshan R., M. Magazine, *Quantitative models for supply chain management*, Kluwer Academic Publishers.
- [Telle et al 2001] Telle O., Pistre T., Thierry C. et Bel G., "Relation Client / Fournisseur au sein d'une chaîne logistique intégrée : Un modèle de simulation", *MOSIM 2001*, Troyes, France, 2001.
- [Telle 2001] Telle O., "Relation Client / Fournisseur au sein d'une chaîne logistique intégrée : Un outil de simulation", *Congrès des doctorants de l'école doctorale système*, Toulouse, France, 2001.
- [Thierry et al 2001] Thierry C., Telle O. et Bel G., « Modèle d'optimisation macroscopique pour évaluer les performances d'un système de production kanban au sein d'une chaîne logistique », 4^o congrès international franco-québécois de génie industriel, Aix, France 2001.
- [Thierry 1994] Thierry C., *Planification et ordonnancement multi-site : une approche par satisfaction de contraintes*, thèse de doctorat Supaéro, Toulouse, France, 1994.
- [Thierry et al 1993] Thierry C., Bel G. et Esquirol P., « A constraint based model for multi-site scheduling », *12th IFAC World Congress*, Sydney, Australie, 1993.