HAL
open science

Formalisation de la coopération dans le pilotage distribué des flux interentreprises, Application à une entreprise de production de biens

Thibaud Monteiro, Pierre Ladet

To cite this version:

Thibaud Monteiro, Pierre Ladet. Formalisation de la coopération dans le pilotage distribué des flux interentreprises, Application à une entreprise de production de biens. Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), 2001, 35 (7-8), pp. 933-962. hal-00288801

HAL Id: hal-00288801

https://hal.science/hal-00288801v1

Submitted on 19 Jun 2008

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.

Formalisation de la coopération dans le pilotage distribué des flux interentreprises

Application à une entreprise de production de biens

Thibaud Monteiro — Pierre Ladet

Laboratoire d'Automatique de Grenoble
ENSIEG, Rue de la Houille Blanche, BP 46
38402, Saint Martin d'Hères CEDEX - FRANCE
{thibaud.monteiro, pierre.ladet}@inpg.fr

RÉSUMÉ. *Le gain en productivité passe aujourd'hui par une plus grande coopération entre les entreprises appelées à collaborer autour d'un même produit. La réflexion sur les organisations industrielles qui se constituent désormais en « Architectures Industrielles » conduit à la mise au point d'outils spécifiques d'aide à la décision et au pilotage. L'objet de cet article est d'apporter des éléments de réponse à ce nouveau besoin, en proposant une formalisation de la coopération basée sur la négociation des délais de livraison. Ces travaux sont développés en s'appuyant sur un cas industriel réel de production de biens qui nécessite un pilotage distribué.*

ABSTRACT. *The improvement of the manufacturing productivity shows a growing interest for cooperation between companies. Today's reflections on these industrial organizations called "industrial architecture" aimed at the development of a specific decision making and control supports. The objective of our work is to propose a formalization of the cooperation intending to coordinate the means used for production of consumer goods. This formalization allows to establish an assistance tool for the distributed control of flows between firms. The results are applied to a real industrial case of goods production.*

MOTS-CLÉS : *aide à la décision, architecture industrielle, coopération, flux interentreprises, pilotage distribué, réseaux de Petri.*

KEY WORDS: *decision-making, industrial architecture, cooperation, flows between firms, distributed control, Petri nets.*

Signature de l'article : nom de la revue. Volume 1 – n° 1/1998, pages 1 à 25

1. Introduction

On appelle architecture industrielle (AI) tout ensemble d'entreprises regroupées durablement autour d'un objectif commun. En même temps, la notion d'AI suggère que soient analysées et maîtrisées les relations d'échange entre les entreprises concernées [HAU 99]. À toute AI construite pour une meilleure productivité correspond une coordination de l'ensemble des actions réparties chez les différents partenaires [ALT 92], [ROT 98]. Les récentes orientations de la recherche pour une amélioration du pilotage distribué d'une AI ont montré tout l'intérêt de la notion de coopération [RAP 87], [AXE 92], définie comme la coordination et la synchronisation d'opérations effectuées par les différents acteurs qui ne possèdent un pouvoir de décision que sur une partie seulement du système constitué par l'AI [HUG 94], [CAM 97], [CAM 00].

Nous introduisons ici une formalisation basée sur les notions de prise de décision distribuée et de coopération, qui s'opposent à la structuration hiérarchisée et centralisée encore récemment dominante dans de nombreux secteurs industriels [GIA 88], [WOM 92]. Cette distribution de la décision est une réponse au caractère autonome et indépendant de l'ensemble des acteurs présents dans une AI. Pour assurer une plus grande performance du pilotage et une plus grande robustesse des décisions, nous cherchons à introduire la coopération le plus tôt possible dans la définition de la relation interentreprise de manière à ce que la décision soit concertée dès l'élaboration d'un échange.

Nous exposons notre approche en nous appuyant sur un cas industriel réel : le contexte industriel fondant plus précisément la problématique de cette étude est tout d'abord présenté. L'approche est ensuite développée, basée sur une modélisation de l'AI structurée à partir d'un agencement de « briques » élémentaires qui représentent les différentes entreprises. Cette modélisation exige cependant d'une part, une réflexion sur une typologie des flux interentreprises et d'autre part, une représentation générique des entreprises. Trois aspects de l'entreprise sont observés et modélisés dans une démarche à travers la composition de trois réseaux de Petri qui représentent respectivement les échanges interentreprises, le système interne de transformation de la matière et le module de prise de décision. Le module de prise de décision sera présenté et développé dans un chapitre à part et ultime car le pilotage distribué demande une réflexion particulière sur les mécanismes de prise de décision et notamment sur leurs interactions.
Enfin, nous présenterons une illustration de cette démarche et apporterons quelques conclusions et perspectives qui dérivent de cette méthode.

La thématique de la distribution de la décision est d'actualité. [TRE 01] et [OUN 01] proposent une formalisation pour la conception décentralisée ou pour le pilotage des relations donneurs d'ordres / fournisseurs (DO/F). Une large étude sur la théorie de la coordination a été menée par [MAL 94] qui fait ressortir son caractère pluridisciplinaire et montre la grande variété des concepts réunis que l'on peut regrouper en deux familles : la synchronisation, relative aux produits et aux activités, et la codécision, relative aux décisions.

Il est important de positionner la notion d'AI vis-à-vis de celle de la chaîne logistique (SC) plus couramment retenue dans les SPI. Par rapport à la SC, l'AI s'intéresse non seulement aux flux de matières, mais aussi aux flux d'informations. Ces flux sont

considérés comme bidirectionnels ce qui n'est pas traditionnellement le cas dans les SC [FER 01], [KJE 98]. En effet, dans les SC, les flux d'informations circulent en remontant celles-ci du client final au fournisseur ultime, et inversement pour les flux de matières. Plus globales, les AI supposent des flux dans les deux directions ; ainsi un DO peut fournir la matière première à un F, comme c'est le cas pour la sous-traitance de capacité, ou un F peu initié un dialogue avec les DO pour lesquels il est en relation de partenariat. L'AI constitue le support de l'ensemble des relations entre entreprises. Son application est beaucoup plus vaste que celui de la SC et prend en compte l'ensemble du cycle de vie, que ce soit celui du produit ou de l'organisation industrielle elle-même. Généralement, ce concept est appliqué pour des regroupements d'entreprises dont les relations ont un caractère durable. Aussi il a été nécessaire de définir cette notion qui englobe non seulement celle de la SC, mais qui s'ouvre aussi sur des aspects de type informationnel et relationnel.

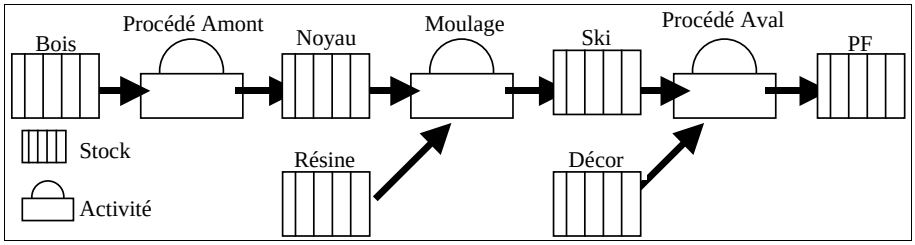

Figure 1. *Le système de production étudié*

2. Le contexte industriel étudié

L'exemple retenu est une entreprise spécialisée dans la production de skis. Cette entreprise est en relation avec deux types de partenaires : les donneurs d'ordres (DO) qui distribuent le produit fini (PF) et les fournisseurs (F) qui apportent les matières premières (MP), résines, bois, éléments de décor et de fixation.

Le marché du ski suit une demande particulièrement versatile car fortement liée à la mode. Cette caractéristique impose à l'entreprise une grande agilité dans sa production. De plus, le marché du ski étant fortement saisonnier, la production suit un processus cyclique et s'établit suivant deux politiques complémentaires et successives de gestion de production. La première politique consiste dans la création des stocks des différents modèles avant la saison. La seconde, appelée « *épicerie* », consiste à poursuivre la fabrication des modèles phares durant la saison elle-même. Le décalage des saisons entre les deux hémisphères terrestres entraîne la coexistence de ces deux modes de production, ce qui représente une difficulté supplémentaire.

La fabrication d'un ski suit trois étapes principales : la fabrication des éléments, le moulage ou l'injection et la finition.

Parmi ces trois étapes, celle du moulage (ou de l'injection) est la plus importante ; elle est réalisée sur le goulot de la fabrication. La ***Figure 1*** illustre le processus interne de

fabrication centré sur le moulage, pivot du processus. Toutes les activités situées en amont du moulage sont en flux tiré et toutes celles en aval en flux poussé.

Ainsi dans la fabrication d'un ski, le moulage est l'opération de référence (goulot) sur laquelle s'appuie la planification. Toutes les autres opérations sont déterminées par rapport à la date de cette opération. Le plan de production est directement traduit en paires de skis à mouler et les ordres de fabrication pour chaque opération amont ou aval sont calculés à partir d'un décalage fixe dans le temps. Ainsi le nombre de noyaux à produire au jour J sera fonction des quantités à fabriquer en moulage au jour J+3. De même les activités de finition sont réalisées au fil de l'eau en fonction des produits en stock en sortie de l'activité de moulage.

Les contraintes internes influant sur la prise de décision découleront uniquement de la charge sur l'activité goulot. Les autres activités amont et aval sont suffisamment sur-capacitaires pour n'induire aucune contrainte de disponibilité.

Dans notre étude, nous nous focalisons sur la production de type « *épicerie* » (production à la demande). C'est ce second type de production, par son exigence de réactivité de la part de l'ensemble de l'AI, qui est critique. Nous cherchons, par la formalisation des échanges interentreprises, à prendre en compte non seulement les contraintes internes à l'entreprise, mais aussi celles découlant de l'ensemble des partenaires (DO et F).

REMARQUE. — Il faut néanmoins tenir compte de la charge induite sur l'activité de moulage de la production coexistante (production sur stock).

3. Démarche proposée

3.1. Modélisation d'une architecture industrielle

Pour représenter une AI, nous devons être à même de modéliser, d'une part, ses constituants principaux que sont les entreprises et, d'autre part, les éléments circulants entre celles-ci. C'est pourquoi nous définissons dans ce chapitre la notion d'AI en nous appuyant sur une typologie des flux interentreprises, ainsi que sur une méthode générique de modélisation de l'entreprise en relation avec ses partenaires qu'ils soient DO ou F.

3.1.1. Définition duale d'une entreprise dans une architecture industrielle

Dans ce contexte, une entreprise (E) est vue comme F vis-à-vis de ses DO et comme DO vis-à-vis de ses propres F. Ainsi, toute entreprise est placée entre deux groupes, celui de ses donneurs d'ordres et celui de ses fournisseurs. Elle constitue soit le maillon d'une filière, soit un nœud dans un réseau d'entreprises. C'est dans cette perspective duale que nous proposons de prendre l'entreprise en considération. Du point de vue de l'entreprise considérée E, un donneur d'ordres directement en liaison avec elle est qualifié de donneur d'ordres de premier rang (DO 1), tandis que les donneurs d'ordres de niveaux supérieurs X seront de Xième rang. On qualifie de la même façon les F en fonction de la « distance » qui les sépare de l'entreprise considérée (Figure 2).

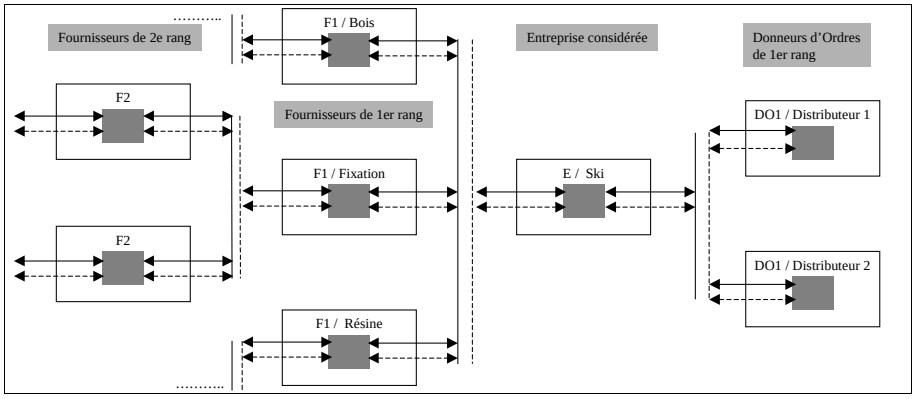

Figure 2. *Représentation d'une architecture industrielle*

3.1.2. Flux relatif au pilotage opérationnel d'une relation interentreprise

Ces flux sont regroupés en deux catégories :

– les flux d'informations, supports des données nécessaires à la gestion de l'AI,
– les flux de matières, rassemblant les échanges interentreprises physiques.

Notre objectif est de modéliser, dans un formalisme unique, l'ensemble de ces flux. C'est pour cette raison que nous utilisons une structuration par agrégats permettant d'éviter, grâce à l'encapsulation des données, une augmentation de la taille du modèle malgré la grande variété de ces flux. De plus, cette approche autorise une prise en compte plus aisée de nouveaux types de flux.

3.1.2.1. *Les flux d'informations*

Nous nous intéressons plus particulièrement aux flux d'informations nécessaires au pilotage opérationnel. Ces échanges d'informations sont aussi l'armature principale de la coopération interentreprises.

Un flux d'informations dans une relation marchande est en partie caractérisé par un couplet Émetteur/Destinataire constitué d'un DO et d'un F. L'échange interentreprise est essentiellement centré sur l'établissement d'une commande et sur son évolution. Nous définissons une commande comme un flux informationnel entre deux entreprises qui contient les données suivantes :

– Le produit concerné par l'échange,
– La quantité mise en jeu,
– La date de livraison.

Cette commande suit une évolution en deux phases : la première phase est celle de son initialisation. À ce stade, les entreprises cherchent ensemble à définir les caractéristiques (produit, quantité, délai) de la commande. La seconde phase est plus opérationnelle, et vise à piloter les flux de matières au sein de l'AI. Cette caractérisation est précisée grâce à

l'attribut « Qualificatif » de l'agrégat « Flux info » qui peut prendre les valeurs suivantes (indices illustratifs de la ***Figure 3***) :

– Demande initiale du donneur d'ordres (1),
– Proposition du donneur d'ordres (2),
– Commande prévisionnelle du donneur d'ordres,
– Commande ferme du donneur d'ordres,
– Demande initiale de l'entreprise (3),
– Proposition de l'entreprise (4),
– Commande prévisionnelle de l'entreprise,
– Commande ferme de l'entreprise,
– Proposition du fournisseur (5).

L'état de la négociation entre l'émetteur et le récepteur d'un flux est renseigné par l'attribut « Statut » de cet agrégat. Cet état est représenté par deux rubriques, représentant les points de vue des deux entreprises en négociation, l'une qui correspond à la position du client (DO) et l'autre à celle du fabricant (Fournisseur) du produit concerné. Une proposition est au départ à valider (AV) auprès du second partenaire qui pourra l'accepter (A) ou la refuser (R). La négociation prendra fin sur un accord commun (statut <A, A>) ou sur le refus de l'un des partenaires (statut <A, R> ou statut <R, A>). Nous pouvons par ce procédé suivre l'évolution dans le temps d'une commande à travers son « cycle de vie ». La ***Figure 3*** illustre une évolution possible d'une commande, de la demande initiale à l'acceptation finale. Ici, un commun accord est trouvé après l'envoi de quatre propositions successivement négociées. Ce processus de génération d'une commande qui s'appuie sur la négociation, sera développé plus en détail dans le chapitre suivant. L'exemple présenté ici illustre l'évolution de l'attribut « Statut » lors de la phase de génération d'une commande, mais cet attribut est aussi utilisé dans la phase de pilotage des flux de matières pour informer de l'état (Accepté ou Refusé) par exemple d'une commande ferme.

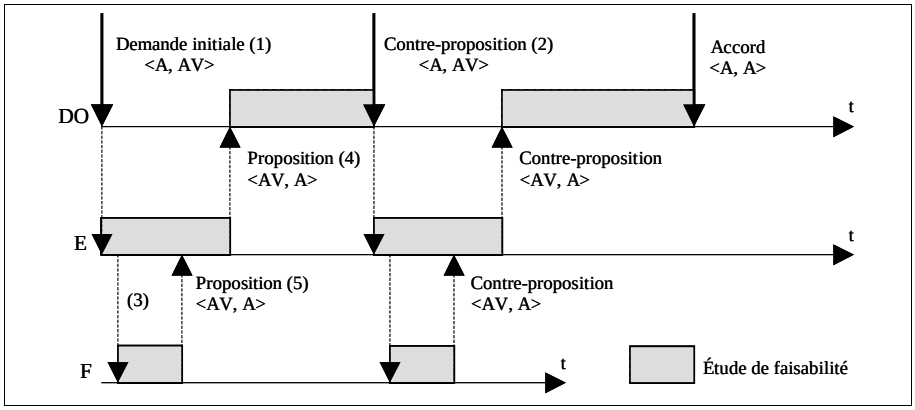

Figure 3. *Exemple de génération d'une commande*

Pour ce type de flux, nous utiliserons la notation suivante :

– flux info <qualificatif, produit, quantité, délai, statut, émetteur, destinataire>

L'agrégat « produit » encapsulé dans les flux informationnels, mais aussi matériels, permet d'identifier le produit concerné par l'échange. Celui-ci est qualifié par sa désignation, la qualité demandée et son prix.

3.1.2.2. *Les flux de matières*

Les flux de matières regroupent les matières premières (matières en provenance du F et fournitures issues du DO) ou les produits finis, ainsi que les flux de facturation (Facture) ou de paiement (Paiement). Les attributs « émetteur », « destinataire » « quantité » et « produit » sont identiques à ceux utilisés dans la classe « Flux info ». L'attribut « temps de trajet » permet de pouvoir prendre en compte cette donnée lors de l'étude de faisabilité d'une demande.

Pour ce type de flux, nous utiliserons la notation suivante :

– flux matière <émetteur, destinataire, temps de trajet, produit, quantité>

Ainsi, à travers un formalisme basé sur les agrégats, nous sommes à même de représenter l'ensemble des flux circulant entre les entreprises d'une AI. La ***Figure 4*** reprend l'ensemble des agrégats caractérisant les flux interentreprises.

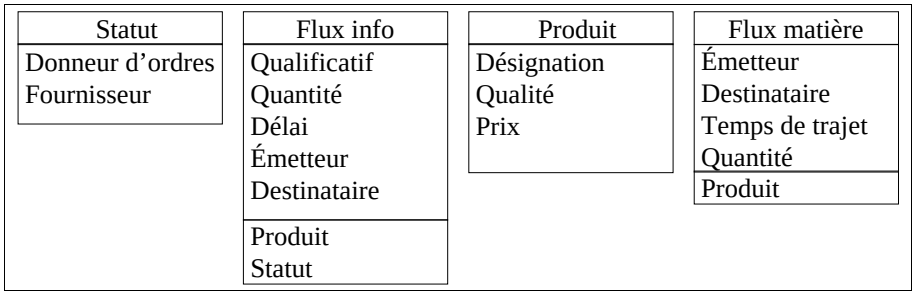

Figure 4. *Agrégats représentant les flux interentreprises*

3.2. L'entreprise en relation avec ses partenaires

La modélisation d'une AI nécessite une prise en compte des entreprises en tant qu'entités indépendantes et en interrelation [BOS 97]. Nous allons à présent développer la modélisation d'une entreprise E.

3.2.1. Structure générale

Étant donnée la typologie développée, la représentation d'une entreprise (***Figure 5***), membre d'une AI, ne peut que reposer sur la prise en compte des deux types de flux, les flux d'informations (flèches en pointillé) et les flux de matières (flèches en continu). Ces deux flux sont pilotés par une fonction fondamentale de gestion des flux (GF). D'autre part, afin de prendre en compte le processus de transformation des flux de matières, il est

nécessaire de mettre en évidence le processus interne de production de biens (en grisé). Cette production interne est vue comme un processus piloté qui consomme des matières premières (MP) et crée des produits finis (PF).

Cette représentation de l'entreprise ne prend son sens qu'en relation avec les DO et les F de celle-ci.

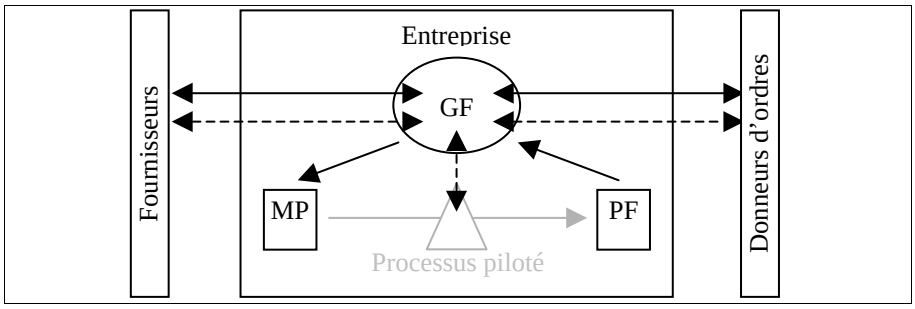

Figure 5. *Structure générale d'une entreprise en relation avec ses partenaires*

3.2.2. Un décomposition de la structure générale en trois réseaux de Petri

Cette représentation peut être décomposée en trois modules distincts :

- Une interface d'entrée/sortie avec l'environnement externe,
- Un processus interne de prise de décision ou gestionnaire des flux
- Et un processus piloté de production interne.

Dans cette décomposition, l'interface d'entrée/sortie avec l'environnement externe, par l'approche exhaustive que nous avons adoptée, est générique pour l'ensemble des entreprises. En revanche, les spécificités de chaque entreprise apparaissent dans les deux autres modules. En effet, le processus interne de prise de décision et le système de production sont propres à chacun des membres de l'AI.

Ainsi, nous allons représenter chaque entreprise constituant l'AI comme une composition de ces trois modules. Nous avons fait le choix d'utiliser une modélisation par réseaux de Petri pour les représenter. Ce choix s'impose pour une prise en compte de la synchronisation des flux et pour faire apparaître clairement les interactions et la structuration des échanges intra et interentreprises.

Les flux ayant une structure d'agrégats, nous nous sommes orientés vers la composition de trois réseaux de Petri Colorés (RdP-C), les couleurs des jetons étant définies à l'aide des agrégats que nous venons de présenter.

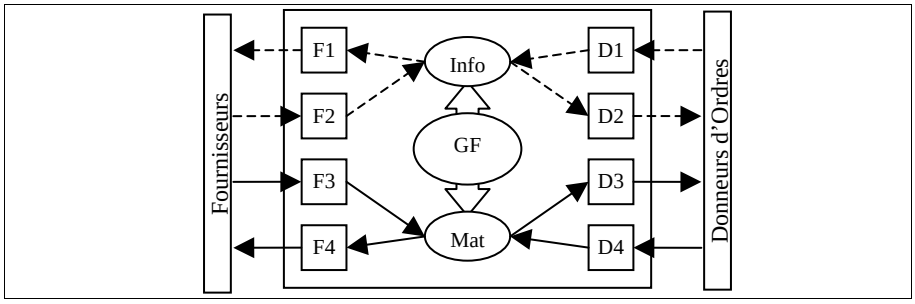

Figure 6. *Représentation d'une entreprise et de ses interfaces de communication*

3.2.3. Le réseau racine : interface de l'entreprise avec son environnement

Le réseau de Petri racine modélise les interactions de l'entreprise avec l'extérieur. Ces interactions se basent sur la circulation des flux interentreprises. Une entreprise peut émettre et recevoir un flux informationnel ou matériel avec deux types de partenaires, les F et les DO. Ainsi pour chacun des deux types de flux, on peut dénombrer quatre modes de communication avec l'extérieur.

Le schéma ci-dessus (***Figure 6***) représente l'ensemble de ces interfaces. La réception des flux issus de l'ensemble des partenaires, qu'ils soient DO ou F, est réalisée à travers les modules d'entrée avec, côté F, le module F2 pour le flux d'informations et le module F3 pour le flux de matières et, côté DO, le module D1 pour l'information et D4 pour la matière. De même, l'entreprise doit pouvoir envoyer des flux à l'ensemble de ses partenaires, avec F1 et F4 comme modules de sortie côté F et D2 et D3 côté DO. Ces huit interfaces de communication sont pilotées par le gestionnaire de flux (GF) qui modélise le fonctionnement interne de la prise de décision de l'entreprise. C'est ce gestionnaire de flux qui va permettre la propagation d'une demande provenant d'un donneur d'ordres aux F de l'entreprise concernés par le produit. GF est modélisé ici par un sous-réseau de Petri que nous détaillerons dans le chapitre 3.3.

Examinons maintenant, plus particulièrement, la relation interentreprise afin d'en déduire les interactions qui existent entre les différents flux. La ***Figure 7*** montre la relation interentreprises existant entre un donneur d'ordres α et un fournisseur β.

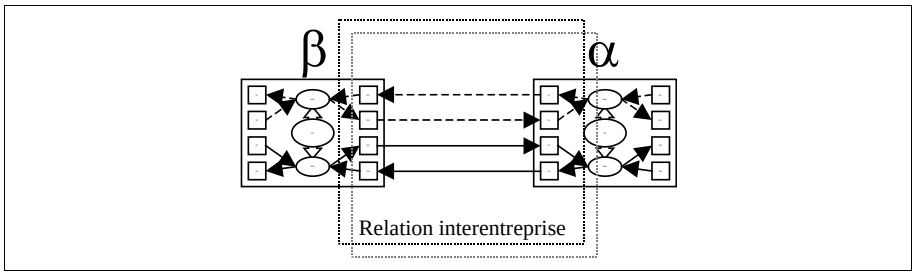

Figure 7. *Extraction d'une relation interentreprises*

Pour développer le modèle, nous nous basons sur la typologie des flux interentreprises que nous avons précédemment exposée. Ainsi, la ***Figure 8*** représente un schéma exhaustif des flux interentreprises. Cette représentation est basée sur le formalisme développé dans le cadre de relations intra-entreprises par l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse [SIB 99]. C'est ce type de réseau de Petri qui fait le lien entre les différents réseaux racines d'une relation interentreprise. Ce schéma illustre la grande variété des flux circulant entre un donneur d'ordres et un fournisseur et qui appartiennent aux deux catégories, les flux d'informations et les flux de matières. Les flux sont représentés de la façon suivante :

– Du côté de l'expéditeur du flux, une transition (représentée par un rectangle et le nom du flux) qui représente l'émission du flux.

– Du côté du destinataire du flux, une transition (représentée également par un rectangle et le nom du flux) qui représente la réception du flux.

– Entre les deux partenaires, une place (représentée par une ellipse) dont le type est celui du flux qu'elle contient.

Les huit interfaces précédemment citées sont reprises ici et décomposées en plusieurs sous-modules de façon à spécifier chacun des flux. En effet, chacune des entrées/sorties du système gère des flux qui lui sont spécifiques.

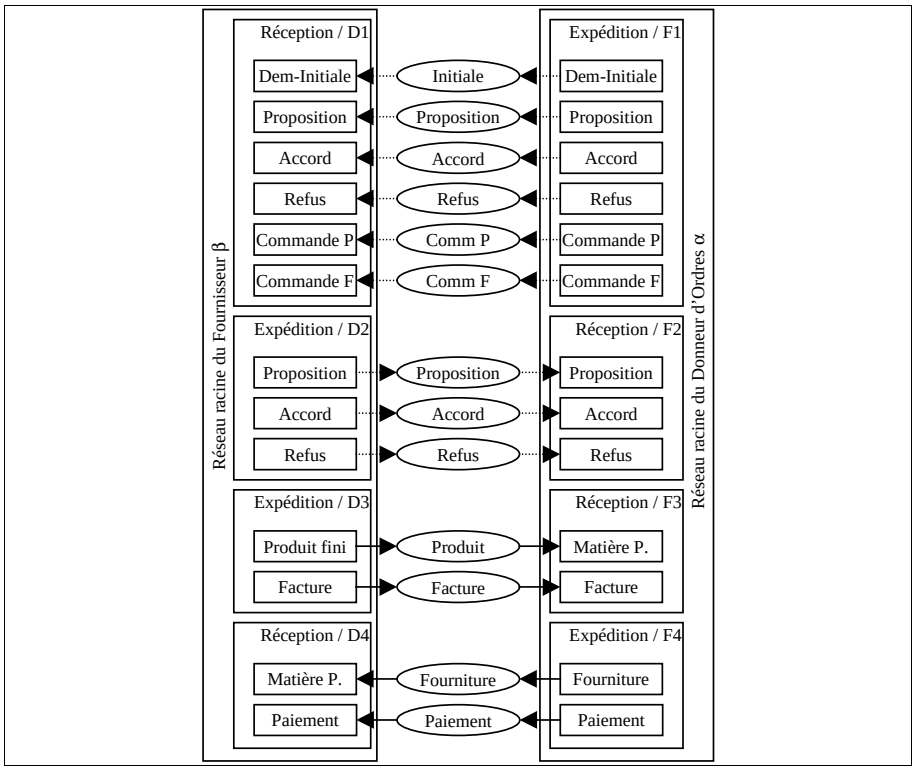

Figure 8.*Représentation d'une relation interentreprises*

3.2.3.1. *D1 : réception des informations provenant d'un DO*

D1 réceptionne les informations issues d'un donneur d'ordres et qui comprennent :

– La réception de la demande initiale du donneur d'ordres (Dem-Initiale) qui va initier la négociation entre l'entreprise et son donneur d'ordres. L'objet qui encapsule cette information appartient à la classe flux info et est de la forme :
flux info <Dem_Initiale, produit_A, 10, 80, <A, AV>, α, β>

– La réception d'une contre-proposition du donneur d'ordres (Proposition) qui va répondre par une alternative à une proposition de l'entreprise. Elle est de la forme : flux info <Proposition, produit_A, 10, 90, <A, AV>, α, β>

– La réception d'un accord répondant à une proposition de l'entreprise. Elle est de la forme : flux info <Proposition, produit_A, 15, 100, <A, A>, α, β>

– La réception d'un refus répondant à une proposition de l'entreprise. Elle est de la forme : flux info <Proposition, produit_A, 15, 100, <R, A>, α, β>

REMARQUE. — La réception d'un refus ou d'un accord met fin à la négociation engagée avec le donneur d'ordres.

Enfin, pour la gestion opérationnelle des flux, il faut considérer également :

– La réception de commande ferme ou prévisionnelle (Commande P ou Commande F), de la forme :
flux info <Commande_P, produit_A, 15, 100, <A, AV>, α, β>

Le schéma (***Figure 9***) illustre le réseau de Petri de ce module. Les transitions colorées (schématisées par des rectangles) représentent les entrées et les sorties du système tandis que les places illustrent les en-cours d'informations ou de matières internes ou externes à l'entreprise. La réception d'un jeton de type « demande initiale » valide la transition Dem-Initiale de D1. Le franchissement de cette transition dépose un jeton dans la place 1 et envoie un jeton « agrégat » en direction du sous-réseau décisionnel (place E). Si la place 2 illustrant une situation de repos dans la négociation avec le donneur d'ordres n'est pas vide, alors on peut entrer en phase de négociation (place 3). La négociation peut prendre

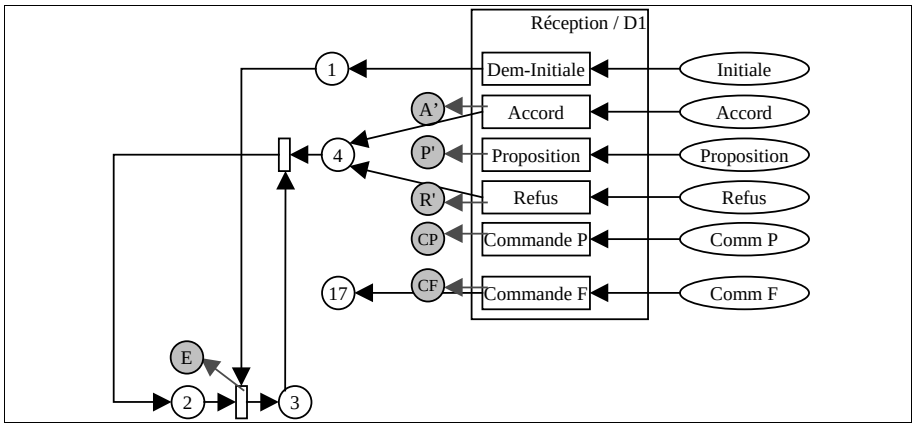

Figure 9. *Réception / D1*

fin à l'émission d'une réponse de type accord ou refus (place 4). Les arcs grisés représentent la connexion de ce réseau avec le sous-réseau de Petri de gestion des flux (GF). La place 17 mémorise la réception d'une commande ferme provenant d'un donneur d'ordres.

3.2.3.2. *D2 : émission des informations vers un DO*

D2 gère l'envoi d'informations à destination d'un donneur d'ordres correspondant à la réponse d'une demande initiale ou d'une proposition du donneur d'ordres.

L'entreprise peut donc envoyer trois types de réponses qui ont la forme suivante :

– L'accord (A) : flux info < Commande_F, produit_A, 10, 80, <A, A>, β, α>,
– La proposition (P) : flux info <Proposition, produit_A, 10, 90, <A, AV>, β, α>,
– Le refus (R) : flux info < Dem_Initiale, produit_A, 10, 80, <R, A>, β, α>.

Le schéma (***Figure 10***) illustre le réseau de Petri de ce module. Un jeton de la place 3 (illustrant une situation de négociation) peut être consommé de trois façons complémentaires. Les tirs sont validés par l'envoi d'un jeton issu du sous-réseau de Petri représentant la prise de décision interne. À l'envoi d'un refus ou d'un accord, la négociation (place 3) prend fin et on retourne dans une situation de repos (place 2) jusqu'à une nouvelle modification de l'environnement. En revanche, le franchissement de la transition « Proposition » retourne un jeton dans la place illustrant la négociation. Celle-ci pourra prendre fin à la réception d'une décision issue du Donneur d'Ordres.

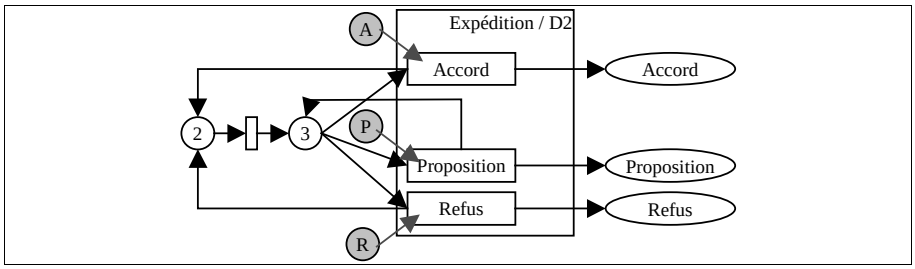

Figure 10. *Expédition / D2*

Symétriquement, F1 et F2 gèrent la réception et l'envoi d'informations avec les F (***Figure 11***). L'envoi d'un jeton de type « demande initiale » valide la transition Dem-initiale de F1. Le franchissement de cette transition, qui est conditionné par la présence d'un jeton « agrégat » en provenance du sous-réseau décisionnel, consomme un jeton de la place 5 (situation de repos) et dépose un jeton dans la place 6 (phase de négociation). La négociation peut prendre fin à l'émission d'une réponse de type accord ou refus ou à la réception d'une décision du F (place 7). La place 11 mémorise l'envoi d'une commande ferme vers un F.

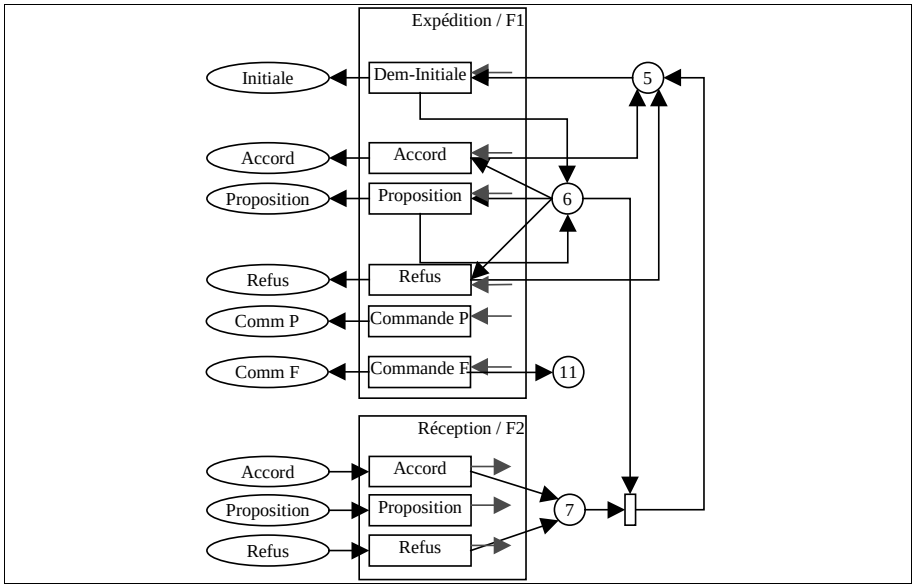

Figure 11. *Expédition et Réception/ F1 et F2*

3.2.3.3. *D3 : émission des matières vers un DO*

L'interface D3 est principalement chargée de l'expédition des produits finis (PF) vers les clients. Elle gère aussi des flux plus secondaires comme l'émission des factures. Les flux issus de cette interfaces ont la forme suivante :

– L'émission des produits finis : flux matière < β, α, 10, produit_A, Quantité>
– L'émission des factures : flux matière < β, α, 3, facture_produit_A, 1>

3.2.3.4. *D4 : réception des flux matériels issus d'un DO*

L'interface D4 quant à elle, est chargée de la réception des fournitures (MP) expédiées par un F. Elle gère aussi des flux plus secondaires comme la réception des paiements. Les flux issus de cette interfaces ont la forme suivante :

– La réception des fournitures : flux matière < α, β, 10, sous_produit_A, Quantité>
– La réception des factures : flux matière < α, β, 3, paiement_produit_A, Quantité>

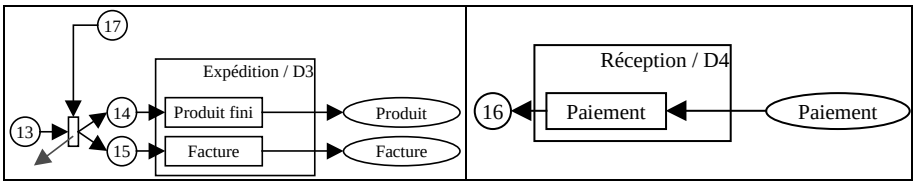

Figure 12. *Expédition et Réception/ D3 et D4*

Le schéma précédent (***Figure 12***) illustre ces deux derniers modules. La circulation du flux de matières s'effectue côté F avec F3 et F4 et côté donneur d'ordres avec D3 et D4.La place 13 modélise le stock de produits finis. La transition aval des places 13 et 17, qui mémorise une commande ferme, est franchie pour expédition synchronisée des produits finis (place 14) par la transition « Produit fini » et pour demande de paiement (place 15) par la transition « Facture ». La réception des fournitures par l'interface D4, alimente le stock illustré par la place 18.

La ***Figure 13*** présente l'ensemble du réseau de Petri racine que nous venons de développer. Ce schéma illustre le mécanisme de propagation des flux ainsi que leurs interactions. Nous identifions pour les deux catégories de flux neuf éléments de type information et quatre éléments de type matière.

REMARQUE. — Pour une facilité de lecture, les commandes prévisionnelles et fermes, bien que rattachées à D1 et F1, ont été séparées de ces deux modules.

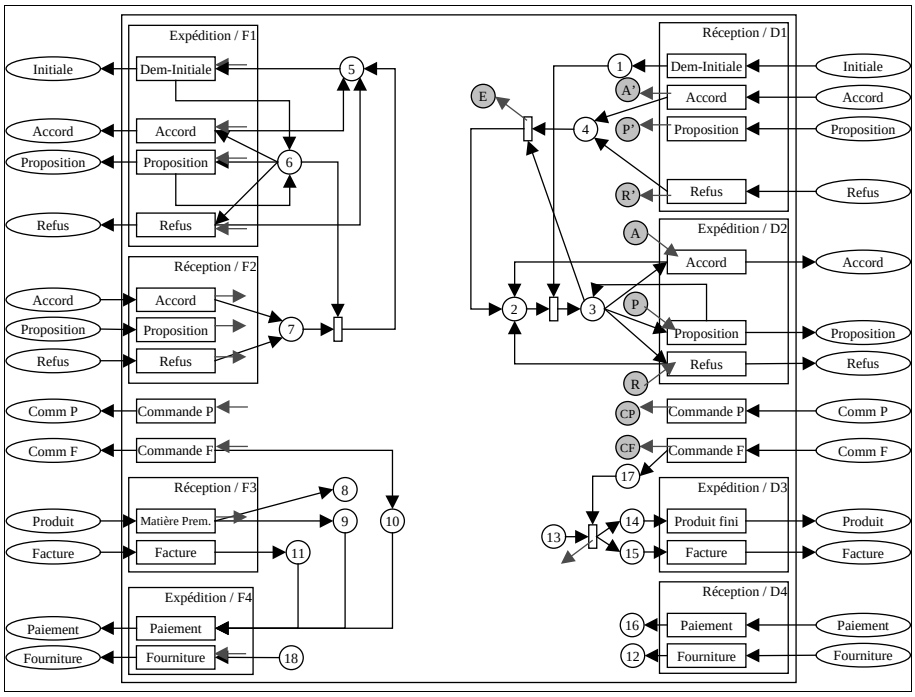

Figure 13. *Le réseau racine*

Ainsi pour représenter chaque acteur de l'AI, nous utilisons la composition de ce réseau racine avec deux autres réseaux de Petri qui modéliseront d'une part le mécanisme interne de production et d'autre part le mécanisme de prise de décision. La communication entre les différents réseaux est réalisée par l'intermédiaire d'arcs colorés (en grisé). La prise de décision est basée sur les informations issues des transitions d'entrée du modèle des flux et fait un choix sur les transitions de sortie à activer. Ces informations sont sous la forme de

jetons « agrégats » présentés précédemment. C'est ce type de jetons qui circulent entre les différentes entreprises de l'Architecture Industrielle.

Nous allons à présent introduire les deux sous-réseaux en commençant par celui modélisant le système interne de production.

3.2.4. Le premier sous-réseau : le système interne de production

Ce sous-réseau modélise le système interne de transformation de la matière première (MP) en produit fini (PF). Le système interne de production (en grisé sur la ***Figure 5***) est représenté par un processus qui est piloté par le second sous-réseau, le gestionnaire des flux (GF). Ce processus est décomposé en activités élémentaires qui sont connectées entre elles par l'intermédiaire des stocks amont et aval. Cette vue descendante assure la modélisation de la transformation de matière. Une seconde vue, ascendante, incluse dans le gestionnaire des flux, représente le processus de propagation des besoins de PF en MP. L'intérêt supplémentaire de cette double approche est de permettre, par le suivi, une étude de l'adéquation entre le besoin exprimé et la consommation effective dans le temps des matières premières.

3.2.4.1. *Représentation d'une activité i*

Une activité i est déclenchée par le gestionnaire des flux (pilotage : lancement) à une date donnée et consomme des composants issus du stock amont (alimenté par une activité amont) ainsi que du stock des matières premières MP (alimenté par les fournisseurs) (places 8 et 12 du réseau racine – ***Figure 13***).

Une fois l'activité terminée, celle-ci informe l'activité de pilotage de la fin opératoire et alimente le stock aval, qui sera consommé par une activité aval ou qui correspondra au stock de produit final PF (illustré par une place en grisé correspondant à la place 13 du réseau racine – ***Figure 13***). Le pilotage s'effectue à partir du sous-réseau modélisant la prise de décision. Nous utilisons un RdP-C P-temporisé en synchronisation avec le sous-réseau de pilotage.

En entrée d'une activité, nous avons donc :

– Les fournitures internes et/ou externes :

<sous_produit_A_interne> issue du stock amont (alimenté par l'activité i-1)

<sous_produit_A_externe> issue du stock de matières premières (alimenté en externe)

– L'ordre de lancement de la fabrication (pilotage : lancement) :

<Identifiant_OF, Durée_opératoire, Produit_A, Quantité, nombre_composants,
<sous_produit_A_interne, Quantité_consommée>,
<sous_produit_A_externe, Quantité_consommée>
…>

En sortie, nous obtenons :

– Les produits finis internes ou intermédiaires : <produit_A, Quantité_produite>
vers le stock aval (qui alimente une activité i+1 ou le stock PF)

– Le rapport de fin de fabrication à destination du pilotage : <Identifiant_OF, Fin>

Avec ce premier sous-réseau, nous établissons une méthode de modélisation d'un processus de fabrication basé sur une combinaison d'activités pilotées par le réseau de gestion des flux que nous allons décrire maintenant.

3.2.5. Le second sous-réseau : le gestionnaire des flux

Ce sous-réseau a un objectif double. Pour chaque entreprise, il cherche d'une part à modéliser le processus interne de prise de décision et d'autre part à piloter le premier sous-réseau modélisant le système interne de production. Pour une plus grande lisibilité, nous allons étudier ces deux éléments séparément.

Nous présentons dans un premier temps la structure générale du mécanisme interne de prise de décision qui repose sur une étude de faisabilité concertée avec l'ensemble des acteurs de l'AI. C'est cette procédure qui va permettre, par une validation des places amont, le franchissement de certaines transitions du réseau racine. Le choix d'accepter (A), de proposer (P) ou de refuser (R) une demande va être le résultat de l'étude de faisabilité ($\mathcal{F}$). Cette étude est réalisée en s'appuyant sur l'entrée du système (E), ainsi que sur la connaissance de l'état de l'AI. Cette connaissance est partiellement interne (état des stocks de produits finis et de matières premières, gammes de fabrication,…) ; mais elle peut être aussi externe [MON 01]. Cette seconde partition demande un dialogue avec les autres partenaires, dialogue initié au moment de l'étude de faisabilité ($\mathcal{F}$) en validant certaines transitions du réseau racine (module Expédition / F1).

Le mécanisme d'évaluation va chercher dans un premier temps à déterminer les conditions nécessaires pour respecter l'ensemble des contraintes induites par la nouvelle commande (quantités, délais, …). Si une de ces contraintes est en conflit avec une contrainte interne à l'entreprise ou si l'une de ces contraintes n'est pas en adéquation avec les contraintes découlant de l'ensemble de l'AI (délai de livraison d'un fournisseur, …), la simple insertion de cette nouvelle commande sera alors impossible. Ainsi, dans un second temps, l'évaluation va s'attacher à proposer une modification de la nouvelle commande de façon à ce que l'ensemble du système actuel ne soit pas sur-contraint par cette nouvelle commande. Cette contre-proposition sera expédiée vers le DO par l'intermédiaire du module Expédition / D2

Le gestionnaire des flux assure aussi le pilotage opérationnel de la production. Il se fonde sur un échange avec l'ensemble des autres réseaux du modèle de l'entreprise. Ce dialogue est basé d'une part sur le réseau racine qui contient l'état des entrées et sorties du système (MP et PF) et d'autre part sur le sous-réseau représentant la production. Ce pilotage s'effectue par l'envoi d'ordres de fabrication (OF) et par la réception de comptes-rendus.

La création d'un ordre de fabrication vient de deux circuits complémentaires. Elle peut résulter de :

– L'envoi d'un accord (A) à un donneur d'ordres,
– L'envoi d'une proposition (P) à un donneur d'ordres et la réception de l'accord (A') correspondant.

Ainsi les fabrications associées sont mémorisées (Stock OF) sous la forme suivante :

– OF <Ordre_de_Lancement, Machine, Date_lancement>

Les informations contenues dans l'ordre de lancement dont la structure a déjà été présentée sont complétées ici par l'identification de la machine concernée, ainsi que par la date prévue de lancement en fabrication. Les instruction de lancement sont ensuite envoyées, sous les conditions de disponibilité des machines et de la date de lancement, vers le sous-réseau représentant le système interne de production.
Les OF résultants de l'envoi d'une proposition (P) à un donneur d'ordres seront supprimés de la place « Stock de Propositions » si le donneur d'ordres donne une réponse négative (R') ou une contre-proposition (P'). En revanche ils seront envoyés vers « Stock P OF » en cas de réponse positive (A') du donneur d'ordres. A la réception de la commande ferme, les OF sont transférés du « Stock P OF » vers le « Stock F OF ».
REMARQUE. — Un exemple de ce RdP est présent dans le chapitre 4 (***Figure 20***).

3.3. Mécanismes internes de prise de décision

3.3.1. Négociation et prise de décision

En nous appuyant sur le formalisme développé dans le chapitre précédent, nous constatons que chaque entreprise appartenant à l'AI est vue comme un centre de décision indépendant capable de faire évoluer le système entrant dans son domaine d'action. Dans un cadre coopératif, les décisions prises en interne dans chacun de ces centres doivent être concertées. La coopération est définie comme une volonté d'agir collectivement vers un même but. Dans le cas du pilotage des flux interentreprises, la coopération peut être vue comme la coordination des moyens des différentes entreprises constituant l'AI qui vise à produire un bien en minimisant globalement le triptyque coût / qualité / délais. La coordination permet de rendre les actions individuelles cohérentes et vise à les synchroniser.

La prise de décision est déclenchée lors de la modification de l'environnement. Cette modification peut être externe à l'environnement direct du décideur. C'est le cas à la réception d'une nouvelle demande provenant d'un donneur d'ordres ou lors de la répercussion d'un aléa survenu chez un fournisseur par exemple. Mais cette modification peut résulter aussi d'une évolution interne lorsqu'un imprévu survient au sein même de l'entreprise considérée.

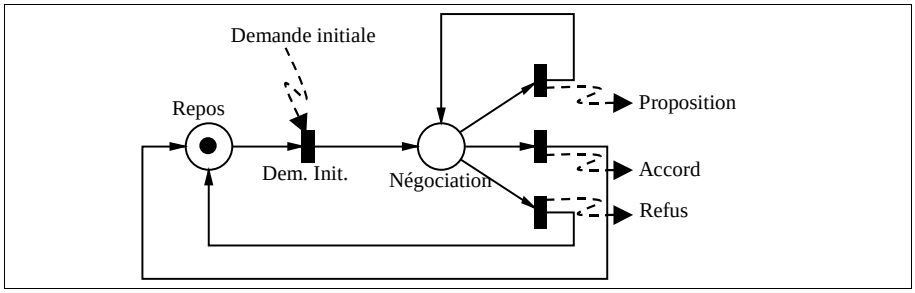

Figure 14. *: Évolution de la négociation*

Le réseau de Petri (***Figure 14***) illustre le mécanisme général de prise de décision. À la réception d'une demande initiale, le jeton de la place Repos, illustrant l'absence de négociation, est consommé. La phase de négociation offre trois possibilités de tirs. En fonction de l'étude de faisabilité de cette demande, le décideur peut, soit poursuivre la négociation en retournant une proposition, soit la stopper par l'envoi d'un accord, soit la stopper par un refus. En réponse à l'envoi d'une proposition, c'est le partenaire qui déterminera le tir possible.

Ce mode de prise de décision a un caractère itératif. En effet, l'étude de faisabilité peut éventuellement provoquer, lorsque le champ de la décision s'étend au-delà de l'entreprise, l'envoi de demandes initiales vers des fournisseurs qui devront à leur tour entrer en phase de négociation [MON 00]. Le décideur devra alors tenir compte des prérogatives de ses partenaires lors de sa prise de décision. C'est par ce processus que sont propagées les contraintes internes de chacun des acteurs de l'AI.

3.3.2. Faisabilité d'une demande initiale

A la réception d'une demande initiale issue d'un donneur d'ordres, l'entreprise a le choix entre trois décisions. Ce choix s'effectue en fonction des contraintes induites par la nouvelle demande. L'entreprise :

- peut accepter pleinement la demande en respectant l'intégralité des contraintes (Accord),
- peut faire le choix de proposer des modifications sur les contraintes (Proposition),
- ou tout simplement peut refuser la demande provenant du donneur d'ordres (Refus).

Le choix entre ces trois modes a été étudié pour des centres de décision appartenant à une seule et même entreprise [CAM 97] en se basant sur l'existence ou non d'un défaut d'autonomie du centre de décision. L'autonomie est satisfaite si l'ajout des nouvelles contraintes n'engendre pas d'incompatibilité avec les contraintes pesant déjà sur le décideur. Dans le cas contraire, on parlera d'un défaut d'autonomie.

Si l'autonomie est satisfaite, le centre peut prendre sa décision en respectant l'ensemble des contraintes (décision sous contraintes). Par contre, si un défaut d'autonomie est décelé, le centre a la possibilité de remettre en cause une des nouvelles contraintes externes pour satisfaire sa propre autonomie (décision sur les contraintes).

Ici, le choix du mode s'effectue en se basant sur un algorithme d'évaluation d'une demande initiale. L'objectif de cette étape est de déterminer à partir de la connaissance l'état du système, si l'entreprise β peut accepter ou non une demande initiale provenant de son donneur d'ordres α. Dans notre cas, nous appuyons la prise de décision sur la charge du centre de production. De façon à déterminer rapidement dans quelles conditions l'entreprise est capable de réaliser une nouvelle commande, une comparaison entre la charge induite par cette nouvelle fabrication et la marge libre restante sur chaque période de planification est effectuée (***Figure 15***).

Cette évaluation se décompose en deux phases. La première permet de détecter l'existence ou non d'un défaut d'autonomie et initie d'éventuelles négociations avec les fournisseurs. La seconde phase permet, elle, de déterminer dans quelle mesure la demande devrait être modifiée afin de respecter l'ensemble des contraintes temporelles présentes sur la chaîne logistique.

Nous avons fait le choix d'appuyer la coopération sur la négociation des dates de livraison qui ont un rôle très important dans le pilotage d'une AI. En effet l'objectif principal d'optimisation des outils liés à la gestion d'une chaîne logistique est de réduire au maximum le « gras logistique » qui reflète le temps gaspillé par une mauvaise coordination des actions.

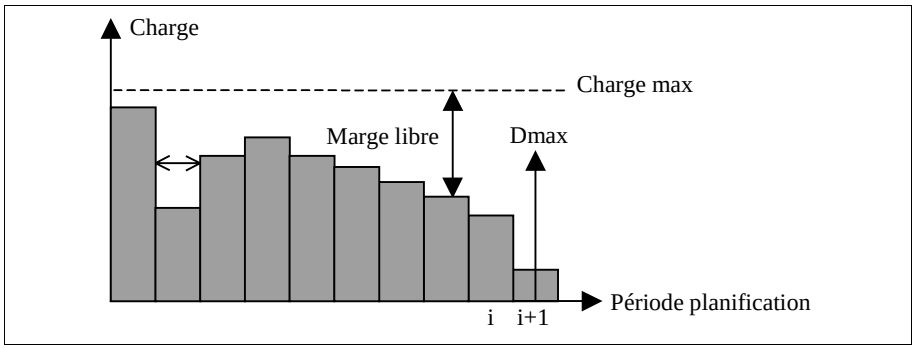

Figure 15. *: Plan de charge d'un centre de production*

3.3.3. Mécanisme d'évaluation

Soit la demande initiale suivante :
flux info <Dem_Initiale, produit_d, Qd, Dd, <A, AV>, α, β>
où :
Qd est la quantité de produit_d à livrer,
Dd est le délai de livraison souhaité,
α et β sont respectivement le donneur d'ordres et l'entreprise « fournisseur »
Soit :
Si, le stock du produit fini i
Li, la taille de lot du produit i
Fi, le temps de fabrication d'un lot du produit i
Ri, le temps de changement de production vers le produit i

La réalisation d'une commande peut se faire par trois circuits complémentaires qui impliquent plus ou moins de moyens dans leur mise en œuvre (Tableau 1).

Mode de réalisation \ Implication	Service vente	Fabrication	Service achat
Livraison sur stock de produits finis	✔		
Fabrication sur stock de matières premières	✔	✔	
Fabrication avec approvisionnement de la matière première	✔	✔	✔

Tableau 1. Moyens mise en œuvre dans la réalisation d'une commande

L'algorithme suivant fait appel à deux sous-fonctions permettant respectivement de faire l'évaluation sous contraintes (recherche d'une insertion avec respect du délai) ou l'évaluation sur les contraintes (recherche du délai d'insertion réalisable). Une procédure complémentaire de réévaluation est aussi nécessaire dans le cas où l'une des réponses données par les F n'est pas conforme au besoin initial. Cette procédure permet de propager cette modification vers le DO.

L'étude de faisabilité va s'appuyer sur les trois circuits complémentaires présentés dans le tableau 1 en impliquant au fur et à mesure de plus en plus de moyens.
Ainsi, nous allons dans un premier temps déterminer si la commande peut être effectuée par livraison sur stock de produits finis. C'est le circuit le plus court pour l'évaluation de la faisabilité. Dans le cas où le stock de PF n'est pas suffisant, la fonction fabrication va être impliquée. Et finalement, si les stocks de MP ne sont pas suffisants, le service achat nécessitant des échanges éventuels avec les fournisseurs sera engagé. Nous obtenons ainsi le troisième circuit qui est le plus long puisqu'il engendre l'initiation d'une négociation avec les fournisseurs. La prise de décision interne nécessitera alors l'attente de réponses de la part des partenaires.

3.3.3.1. *Algorithme d'évaluation d'une demande initiale :*

C'est cet algorithme qui explore les trois circuits décisionnels. Il va s'appuyer sur les deux autres procédures pour l'évaluation sous contraintes et sur les contraintes.

Si [$Qd - Sd \leq 0$] alors **## Comparaison avec le stock du produit fini**
  Envoi réponse = accord **## Stock suffisant**
Sinon
  $Nd = \text{arrondi_sup}\left[\frac{(Qd - Sd)}{Ld}\right]$ **## Nombre de lots à lancer**
  $CHd = Nd \times Fd + Rd$ **## Calcul de le charge induite sur le centre de production**
  $Che\min_critique_aval = Nd \times Fd_aval$ **## Détermination de la valeur du chemin critique aval**
  $D\max = Dd - Che\min_critique_aval$ **## Dmax = date de fin opératoire goulot**
  Recherche de l'insertion avec respect du délai de livraison **## Évaluation sous contraintes**
  Si insertion possible alors
    Comparaison avec le stock de matières premières
    Si stock suffisant alors envoi réponse = accord
    Sinon
      Envoi d'une demande initiale aux fournisseurs
      Si réponse est un accord alors envoi réponse = accord
      Si réponse est une proposition ou refus alors réévaluation
  Sinon
    Recherche du délai d'insertion **## Évaluation sur les contraintes**

```
Si insertion possible
    Comparaison avec le stock de matières premières
    Si stock suffisant alors réponse = proposition
    Sinon
        Envoi d'une demande initiale aux fournisseurs
        Si réponse est un accord alors envoi réponse = proposition
        Si réponse est une proposition ou refus alors Réévaluation
Sinon envoi réponse = refus
```

Figure 16. *Algorithme d'évaluation d'une demande initiale*

3.3.3.2. *Recherche d'une insertion avec respect du délai (décision sous contraintes)*

L'objectif de cet algorithme est de déterminer si une insertion respectant le délai de livraison du produit fini est possible sans dépasser la charge maximale du centre de fabrication. Il permet aussi de connaître les dates au plus tard des besoins en matières premières nécessaires pour d'éventuelles négociations avec les F. Ici, on va chercher à insérer sur l'activité goulot la charge induite par la nouvelle commande le plus près en amont de la date butoir Dmax.

Soit i+1 la période de planification qui contient la date limite de fin opératoire Dmax
Insertion = 0, Stop = 0
Tant que (Insertion = 0 ou Stop = 0) faire
    $\varepsilon = \text{marge_libre}(i) - \text{CHd}$
    si $\varepsilon \geq 0$ alors
        Insertion = 1
        $\text{marge_libre}(i) = \text{marge_libre}(i) - \varepsilon$
        date de début opératoire = i ## **Date de besoin des produits entrants**
        date de fin opératoire = i+1 ## **Date de disponibilité des produits sortants**
    sinon
        si ($\text{marge_libre}(i-1) + \varepsilon \geq 0$) alors
            Insertion = 1
            $\text{marge_libre}(i) = 0$
            $\text{marge_libre}(i-1) = \text{marge_libre}(i-1) + \varepsilon$
        date de début opératoire = i-1 ## **Date de besoin des produits entrants**
        date de fin opératoire = i+1 ## **Date de disponibilité des produits sortants**
        sinon
            i = i-1
            si i = date_butoir_min alors Stop = 1

Figure 17. *Algorithme d'évaluation sous contraintes*

3.3.3.3. *Recherche du plus court délai possible (décision sur les contraintes)*

A la détection d'un défaut d'autonomie, il est important de déterminer dans quelles mesures les contraintes doivent être modifiées pour une réalisation effective d'une commande. Cet algorithme vise à définir la date d'insertion possible en cherchant à minimiser la modification de la demande initiale. Comme dans l'algorithme précédent, ce délai sera un support pour d'éventuelles négociations avec les F. Ici, on va chercher à insérer la charge induite par la nouvelle commande le plus tôt possible en aval de la date Dmax.

```
Insertion = 0, Refus = 0
Tant que (Insertion = 0 ou Refus = 0) faire
   ε = marge_libre(i) – CHd
   si ε ≥ 0 alors
       Insertion = 1
       Dmax = i+1
       marge_libre(i) = marge_libre(i) – ε
       date de début opératoire = i    ## Date de besoin des produits entrants
       date de fin opératoire = i+1    ## Date de disponibilité des produits sortants
   sinon
       si ( marge_libre(i+1) + ε ≥ 0 ) alors
           Insertion = 1
           Dmax = i+2
           marge_libre(i) = 0
           marge_libre(i+1) = marge_libre(i+1) + ε
       date de début opératoire = i    ## Date de besoin des produits entrants
       date de fin opératoire = i+2    ## Date de disponibilité des produits sortants
       sinon
           i = i+1
           si i = date_butoir_max alors Refus = 1
```

Figure 18. *Algorithme d'évaluation sur les contraintes*

4. Illustration de la démarche sur l'exemple industriel

Le schéma (***Figure 19***) reprend notre démarche à travers le système interne de production de l'exemple industriel. Il s'agit du premier sous-réseau, c'est un RdP-C P-temporisé dont la valeur de la temporisation est portée par les jetons eux-mêmes. Ainsi à travers ce modèle on peut représenter plusieurs temps opératoires pour une même machine, cela en fonction de la fabrication lancée.

Les trois transitions précédant les activités sont franchissables en présence des différents composants. Ces composants sont issus soit d'un stock de matières premières (place en grisé)

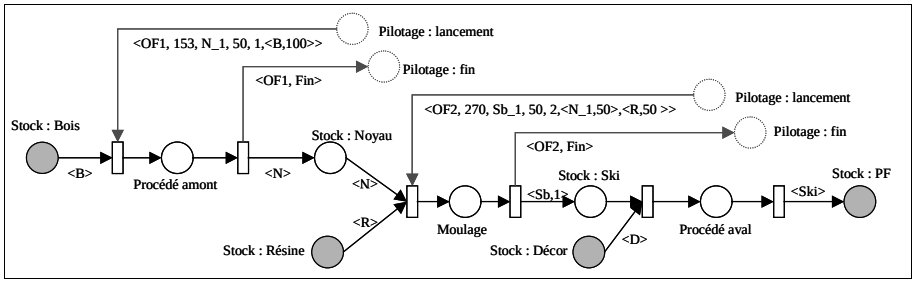

Figure 19. *RdP correspondant à la production interne de notre exemple industriel*

soit d'un stock relatif à un procédé amont (place en blanc). Il est par ailleurs nécessaire de considérer l'ordre de fabrication (jeton issu d'une place en pointillés) qui exprime les consommations des différents jetons *composants* (flux de produit) et le temps de séjour dans la place reflétant l'activité lancée.

La ***Figure 20*** illustre le gestionnaire des flux complémentaire au premier sous-réseau. Ce réseau qui pilote à la fois le réseau racine et le premier sous-réseau, décrit la prise de décision par l'étude de faisabilité ($\mathcal{F}$) et le pilotage des flux par l'envoi des ordres de fabrication. Dans cet exemple seule l'activité de moulage est pilotée par le GF. Ceci reflète la particularité du système étudié qui comporte un seul véritable point de pilotage. Les activités amont sont lancées par décalage de la date de lancement en moulage sans prise en compte de la disponibilité des ressources machines. Les activités amont produisent au fil de l'eau en fonction des skis présents dans leur stock d'entrée. Ainsi, elles ne nécessitent pas un authentique pilotage (au sens de l'envoi d'un OF et de la réception d'un compte-rendu) de la part du GF.

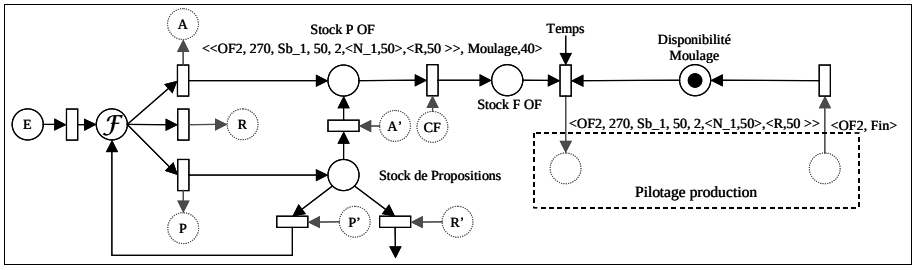

Figure 20. *RdP correspondant aux gestionnaire des flux*

5. Conclusions et perspectives

Les nouvelles structures des architectures industrielles posent le problème du pilotage des flux. Les prises de décision étant distribuées sur l'ensemble des entreprises du réseau, il est important, pour maintenir une cohérence décisionnelle et garantir une réactivité de l'AI,

de proposer un formalisation permettant l'élaboration d'un outil d'aide au pilotage des flux qui circulent dans un tel système.
Dans une AI, la prise de décision ayant un caractère distribué, nous avons fait le choix d'une coopération fondée sur un ensemble de négociations bilatérales pour assurer tout à la fois l'indépendance et l'autonomie de chacune des entreprises et une cohérence globale des décisions vis-à-vis de l'AI. Le choix de chaque entreprise d'accepter une commande en l'état, de la refuser ou de proposer une modification, se fonde sur une étude de faisabilité s'appuyant sur des caractéristiques internes et externes à son domaine d'action.

Nous avons illustré notre approche sur un exemple industriel, en nous basant sur une modélisation du maillon élémentaire de cette chaîne qu'est l'entreprise. L'utilisation de la négociation comme outil de coopération permet une prise en compte de l'ensemble des contraintes présentes dans l'AI au moment de la prise de décision. Les RdP ont permis tout à la fois de représenter la structure des AI et leur dynamique. Les capacités de représentation structurelle ont permis de mettre en avant le séquencement des activités des AI, mais aussi la synchronisation. L'évolution des paramètres – et notamment l'état des différents stocks – a été illustrée par un ensemble de jetons colorés. Pour la formalisation de la décision, il a été nécessaire d'ajouter au modèle RdP-C utilisé un ensemble de « gardes » permettant de valider ou non certaines transitions. Ces gardes, représentant les prises de décisions concertées, ont été présentées sous la forme d'algorithmes qui s'appuient sur une négociation basée sur le critère des délais de livraison.

Le travail qui demeure concerne la validation de la démarche sur d'autres types d'AI. En effet, la structure de notre exemple industriel, dite en X (comportant un centre assembleur, pivot du produit final), bien que très présente dans l'industrie de l'assemblage, n'est pas la seule configuration industrielle possible. Il serait également intéressant d'étudier l'influence des différentes politiques de gestion de production utilisées en interne sur la circulation des flux interentreprises. Ainsi, ce modèle permettrait de connaître l'influence sur l'AI d'une production cyclique ou d'une livraison synchrone. Inversement une étude de l'impact de la structure de l'AI sur ses constituants pourrait être menée. Nous pourrions par exemple spécifier l'effet d'un stock déporté sur la gestion interne des entreprises en relation.

6. Références

[ALT 92] C. Altersohn, De la sous-traitance au partenariat industriel, dynamiques d'entreprises, l'Harmattan, 1992.

[AXE 92] R. AXELROD, *Donnant, donnant : une théorie du comportement coopératif*, Édition Odile Jacob, 1992.

[BOS 97] F. BOSSU, B. RABENASOLO, M. HAPPIETTE, C. VASSEUR, « Simulation de la filière textile », *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, Vol. 31, No. 4, 1997.

[CAM 00] J.P. CAMALOT, « Aide à la décision et à la coopération en gestion du temps et des ressources », thèse soutenue à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2000.

[CAM 97] J.P. CAMALOT, P. ESQUIROL, M.J. HUGUET, J. ERSCHLER, « Aide à la décision et à la négociation dans un problème de gestion de production distribuée », Journées du Groupe de Recherche en Productique, Cachan, 1997.

[FER 01] A. FERRARINI, O. LABARTHE, B. ESPINASSE, « Modélisation multi-agents de chaînes logistiques », *4th International Industrial Engineering Conference*, Aix-Marseille, France, 2001.

[GIA 88] V. GIARD, *Gestion de la production*, (seconde édition), Economia, 2000.

[HAU 99] A. HAURAT et J.C. MONATERI, « Dynamique des relations durables entre entreprises – Architectures industrielles – coordination, pilotage, performance », *3e Congrès International de Génie Industriel*, Montréal, 1999.

[HUG 94] M.J. HUGUET, « Approche par contraintes pour l'aide à la décision et à la coopération en gestion de production », thèse soutenue à l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 1994.

[KJE 98] D. KJENSTAD, « Coordinated supply chain scheduling », thèse de doctorat, Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 1998.

[MAL 94] T. W. MALONE, K. CROWSTON, « The interdisciplinary study of coordination », *ACM Computing Survey*, vol. 26, n°1, 1994.

[MON 00] T. MONTEIRO et P. LADET, « Modélisation des flux pour le pilotage des relations entre donneurs d'ordres et fournisseurs », *Conférence Internationale francophone d'Automatique*, Lille, 2000.

[MON 01] T. MONTEIRO et P. LADET, « Formalisation de la coopération par la négociation des délais dans le pilotage des flux interentreprises », *3e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation*, Troyes, 2001.

[OUN 01] F. OUNNAR, P. PUJO, « Décentralisation des mécanismes de pilotage de la relation donneurs d'ordres / fournisseurs », *4th International Industrial Engineering Conference*, Aix-Marseille, France, 2001.

[RAP 87] A. RAPOPORT, *Game theory as a theory of conflict resolution*, Kluwer Academic Press, 1987.

[ROT 98] K. ROTA, « Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources – Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique », Thèse soutenue à Toulouse, Université Paul Sabatier et ONERA, 1998.

[SIB 99] C. SIBERTIN-BLANC et C. SOULE-DUPUY, « Analyse des flux par réseaux de Petri », *2e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation*, Annecy, 1999.

[TRE 01] D. TRENTESAUX, S. DELSAUT-FURON, C. TAHON, « Proposition d'un système de pilotage décentralisé pour l'aide à la conception de produits complexes », *4th International Industrial Engineering Conference*, Aix-Marseille, France, 2001.

[WOM 92] J.P. WOMACK, D.T. JONES, D. ROOS, *Le système qui va changer le monde : une analyse des industries automobiles mondiales dirigée par le MIT*, Dunod, (1992).